

PROCESSO DE CONCEPÇÃO DE COMPONENTE CONSTRUTIVO: ESTUDO PARA OS BLOCOS VAZADOS CIMENTÍCIOS COM RESÍDUOS EVA

Rodrigo Dias de Almeida Maia (Arquiteto/Professor - UNIFACISA) E-mail: rodrigodias.arq@gmail.com
Aluísio Braz de Melo (Arquiteto/Professor - UFPB) E-mail: aluisiobmelo@hotmail.com

Resumo: O presente artigo trata sobre o processo de concepção de um componente construtivo, para o qual se toma, como exemplo, o estudo de um novo bloco vazado, que tenha como característica principal a ductilidade. Este pressuposto deve-se à busca pela prevenção da patologia que ocorre nas interfaces entre a estrutura de concreto armado e painéis de cobogós cerâmicos, que se manifesta com fissuração/esmagamento dos cobogós. O processo de projeto perpassa momentos distintos que se fecham em si mesmo, incluindo o desenho inicial, as avaliações e o redesenho do componente. O bloco vazado proposto é cimentício, mas fabricado a partir da reciclagem de resíduos (EVA) da indústria de calçados, como agregados leves substituindo os agregados naturais. Nas avaliações, além dos testes de produção e verificações das propriedades físicas e mecânicas do componente, procurou-se caracterizar experimentalmente a sua maior capacidade de deformação, a partir da comparação entre os comportamentos de dois tipos de painéis, um deles executado com os blocos propostos e outro com cobogós cerâmicos, ambos submetidos à carregamentos verticais. Para isso, os painéis foram instrumentados com transdutores para registrar as deformações durante os testes. Os resultados confirmam que o painel executado com os blocos propostos aceitam maiores deformações antes da ruptura e suportam maiores cargas antes do surgimento das primeiras fissuras. Isto confirma maior ductilidade dos blocos vazados e possibilidade para minimizar as manifestações patológicas nas interfaces estrutura-painel. O bloco redesenhado incorpora aspectos positivos em sua geometria que contribuem o com desempenho mecânico do painel.

Palavras-chave: deformação, agregado leve, resíduo EVA, blocos vazados

DESIGN PROCESS OF CONSTRUCTIVE COMPONENT: STUDY FOR HOLLOW BLOCKS CEMENTITIOUS WITH EVA WASTE

Abstract: The present article deals with the constructive component design process, for which it uses, as an example, the study of a new hollow block that has ductility as main characteristic. This assumption is due to search for pathology prevention that occurs on the interfaces between the reinforced concrete structure and ceramics hollow bricks panels, which manifests itself with cracking/crushing of the hollow bricks. The design process goes through different moments that close itself, including the initial drawing, the assessments and the redesign of the component. The hollow block proposed is cementitious, but manufactured from waste recycling (EVA) of the shoes industry, such as lightweight aggregates replacing the natural aggregates. In the evaluations, in addition to the production tests and verifications of the physical and mechanical properties of the component, sought to characterize experimentally its greater deformation, from the comparison between the behaviors of two types of panels, one of them manufactured with the hollow blocks proposed and another with ceramics hollow bricks, both subjected to vertical loads. For this, the panels were instrumented with transducers to register the deformations during tests. The results confirm that the panel manufactured with the hollow blocks proposed accepts major deformations before the rupture and supports greater loads before the first cracks advent. This confirms higher ductility of blocks and possibility to minimize the pathological manifestations in the interfaces panel-structure. The redesigned hollow block incorporates positive aspects in your geometry that contribute to the panel mechanical performance.

Keywords: deformation, lightweight aggregate, waste EVA, hollow blocks

1. INTRODUÇÃO

Nos edifícios é comum ocorrer problemas nas interfaces entre as diferentes partes do sistema construtivo, que pode ser relacionado à concentração de tensões mecânicas entre os diferentes materiais em contato. Um caso notável se observa na interface entre a estrutura de concreto armado e painéis de cobogós cerâmicos, cujas patologias podem se manifestar nos últimos, com fissurações e até esmagamentos de componentes. Certamente, os níveis de deformações

aceitáveis para os diferentes materiais em contato contribuem nesses fenômenos. A deformação lenta do concreto (fluência) representa esforços adicionais nos painéis de cobogó cerâmicos, mas não se devem descartar também as variações de umidade e temperatura ambiente, ao longo de anos, como origem desses problemas, nos quais os materiais mais frágeis não resistem a processos cíclicos de movimentações (contração e expansão).

Para ilustrar esse fenômeno faz-se uso do caso de um edifício (56,00 m x 12,60 m; comprimento x largura), localizado numa IES brasileira, que foi construído há mais de 30 anos, o qual tem dois pavimentos: salas de aula no térreo e ateliês de projeto de arquitetura e urbanismo no pavimento superior. Um grande painel contínuo de cobogós cerâmicos (Figura 1a), localizado no pavimento superior, na fachada sul, é apoiado numa viga de concreto armado, em balanço (1,5 m). Dois outros painéis menores estão nas fachadas Leste e Oeste (menores dimensões), respectivamente, também apoiados em vigas em balanço. De maneira generalizada, na interface entre o grande painel de cobogós cerâmicos e a estrutura de concreto armado, observam-se fissuras, quebras e até esmagamentos dos componentes vazados (Figura 1c). Na interface entre os painéis menores e a estrutura de concreto armado também há manifestação de quebras e esmagamento dos cobogós cerâmicos (fiada inferior), Figuras 1b e 1d, respectivamente.



Figura 1: Patologias destacadas na interface entre painéis de cobogós cerâmicos e estrutura de concreto armado
 Fonte: Acervo dos autores

Sabe-se que existem muitas causas para as fissuras em alvenarias de vedação, mas tomando como referência apenas as duas configurações típicas, apresentadas na Figura 2 (THOMAZ, 1989), que se relacionam com a deflexão da viga de concreto armado na região em balanço e com a deformação da viga inferior maior que a viga superior, pode-se afirmar que o caso aqui ilustrado na Figura 1 também parece ter as mesmas causas, considerando as configurações similares.

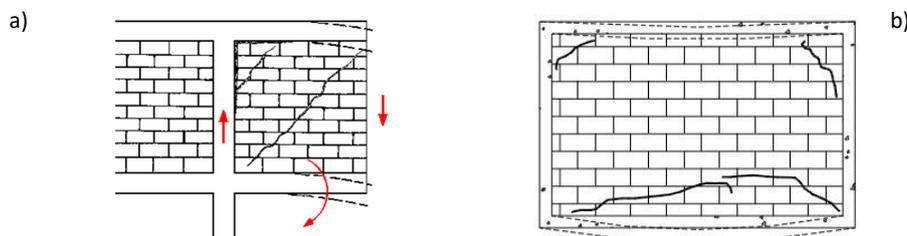


Figura 2: Fissuras típicas em alvenaria de vedação causadas pela deformação da estrutura de concreto armado: a) devido à deflexão da viga de concreto armado na região em balanço; b) devido à deformação da viga inferior maior que a viga superior.

Fonte: Thomaz (1989)

De fato, a deformabilidade de um painel diz respeito à sua capacidade para absorver e distribuir as tensões internas, sem perder o desempenho, sendo que isso depende de muitos fatores, tais como: da resistência mecânica do bloco e da estrutura; da dimensão do bloco; do

tipo de argamassa; da espessura das juntas e da aderência entre os blocos e a argamassa de assentamento (TRAMONTIN, 2005). Assim, observa-se que o processo de interação entre um painel e a estrutura resistente onde ele se apoia é bastante complexo, sendo necessários estudos específicos para se identificar as causas de eventuais fissurações. Não se pretende aqui evoluir nessa discussão, mesmo porque esse não é objetivo do presente estudo.

Contudo, é importante destacar a afirmação clássica de Massetto e Sabbatini (1998) quando diz que as estruturas de concreto armado mudaram bastante ao longo do tempo, tornando-se mais esbeltas, com menor grau de rigidez estrutural e com elementos mais deformáveis. Evidentemente, as alvenarias passaram a ser mais solicitadas quanto às tensões decorrentes das deformações induzidas pelos elementos estruturais do edifício (MASSETTO; SABBATINI, 1998). Também é interessante lembrar outra afirmação clássica quando se diz que, se por um lado os componentes estruturais admitem flecha que podem não afetar a estabilidade e resistência, por outro podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação das paredes da edificação, que são mais suscetíveis à ocorrência de fissuras pela deformação da estrutura de concreto armado (PFEFFERMANN, 1968).

Embora o fenômeno aqui ilustrado não seja objeto de estudo, ele inspirou a proposição de um novo bloco vazado não convencional, que tenha como característica principal a ductilidade, e que quando aplicado em painéis similares possa contribuir na prevenção da patologia referida. Dessa forma, o que se destaca é o processo de projeto desse bloco vazado, que perpassa momentos distintos, a partir da definição do desenho inicial, passando por testes de produção e verificações das propriedades físicas e mecânicas do componente, avançando na caracterização experimental da maior capacidade de deformação do painel executado com tal componente e finalizando com o seu redesenho.

Neste aspecto, são importantes os estudos que propõem a reciclagem do resíduo da indústria de calçados, especialmente aqueles à base de Etileno Acetato de Vinila (EVA), como agregados leves em substituição aos agregados naturais, na elaboração de compósitos cimentícios alternativos para uso na construção civil. De fato, uma característica interessante dos blocos de vedação fabricados com compósitos cimentícios com agregado leve de EVA é que tais componentes têm alta ductilidade (GARLET, 1998, BEZERRA, 2002; POLARI FILHO, 2005; PIMENTEL, 2005; ROCHA et. al., 2013; MELO; LIMA FILHO, 2009).

Assim, espera-se que o componente vazado (do tipo cobogó), à base de compósitos cimentícios com agregado de EVA, aqui denominado bloco EVAzado, também possa ser dúctil o suficiente para contribuir na amenização da patologia ilustrada anteriormente. Considerando as características dos resíduos da indústria de calçados (EVA), que são reciclados como agregados leves na proposta do bloco EVAzado, a expectativa para se produzir um componente dúctil é factível, sendo fundamental se determinar como produzi-lo e caracterizar o quão deformável ele poderá ser, antes de sua ruptura. Portanto, o estudo busca desenvolver uma alternativa, um novo cobogó, que possa contribuir para reduzir a incompatibilidade entre níveis de deformações aceitáveis para os diferentes materiais em contato (concreto armado e painéis de cobogó).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de concepção do bloco EVAzado aqui proposto passou por vários momentos distintos de estudo que incluem os desenhos iniciais (protótipo), os testes de produção/caracterização físico-mecânica e avaliação do comportamento de painéis submetidos à cargas verticais. Esse último momento retroalimentou a etapa final identificada como de ajustes dimensionais e geométricos necessários, que ensejou o redesenho do bloco

EVAzado. Portanto, todo o processo assume importância enquanto procedimento metodológico na caracterização e configuração do produto final.

2.1. Concepção inicial do bloco EVAzado

A concepção formal do bloco EVAzado, em princípio baseou-se no intuito de gerar uma identidade visual ao componente e, posteriormente, estudar suas propriedades físicas e mecânicas. Através da exploração de desenhos foram feitas incursões no sentido de desenvolver um componente que pudesse compatibilizar leveza, bom acabamento superficial, possibilidade de pigmentação e características modulares, que facilitassem adaptações a diversas situações impostas nos projetos de edificações. Além disso, buscou-se permitir o agrupamento entre partes cheias e vazias em um único componente e também uma adequada dimensão dos componentes, que viabilizasse uma redução na quantidade das juntas de assentamento, quando da execução de painéis.

Para se definir o desenho inicial do bloco EVAzado foram realizados diversos estudos, analisando formas e dimensões de vários cobogós, visando extrair as principais qualidades de cada um e concentrá-las em um único elemento, sempre com atenção à questão da viabilidade técnica na fabricação do componente proposto. Por exemplo, na definição dimensional procurou-se estabelecer medidas de maneira que pudessem facilitar os arranjos modulares no assentamento dos blocos EVAzados, tornando-os compatíveis com dimensões de eventuais aberturas (ex.: vãos de portas), por vezes desejáveis, em painéis vazados.

A definição das dimensões dos componentes também levou em conta o aspecto da facilidade de sua locomoção, transporte e armazenamento nas obras. Para isso, buscou-se adequação dimensional entre os blocos EVAzados e a possibilidade de sua paletização. Tal preocupação justifica-se por proporcionar várias vantagens, tais como: redução do tempo de carga e descarga durante o transporte da indústria à obra; redução das avarias nos componentes causadas por quedas durante o transporte; utilização de empilhadeiras no transporte dos componentes paletizados.

Nesse caso, considerando o projeto do bloco EVAzado (com definições dimensionais e estimativa de sua massa) foi previamente verificada, através de desenho, a acomodação otimizada de um número máximo de unidades, em função da capacidade de suporte do palete. Para o bloco EVAzado proposto, verificou-se que pode ocorrer acomodação otimizada de até 82 unidades, correspondendo a uma carga de aproximadamente 900 kg sobre o palete do tipo PBR-I, que é dimensionado para suportar uma carga de até 1000 kg, conforme NBR 8252/2011 (ABNT, 2011a) e NBR 8334/2011 (ABNT, 2011b) e o Comitê Permanente de Paletização (CPP).

Também foram consideradas as duas possíveis posições de assentamento dos blocos EVAzados (com juntas a prumo ou com amarrações) e a interface entre os próprios painéis vazados (amarrações no encontro em “L” entre painéis).

2.2. Testes de produção/caracterização físico-mecânica do bloco EVAzado

Para os testes de produção do bloco EVAzado foi necessário desenvolver um protótipo do molde que viabilizasse a produção dos elementos a baixo custo, em escala laboratorial. Para isso, utilizou-se molde confeccionado em madeira naval, com a parte interna revestida em fórmica, para facilitar o processo de desforma, o qual foi pré-definido através do mecanismo de tombamento do conjunto inteiro (material e molde), seguida de retirada de partes do molde.

A determinação da dosagem do compósito cimentício com agregados leves (resíduos de EVA), utilizado na moldagem dos blocos EVAzados, teve como base os pressupostos a partir de estudos desenvolvidos por Bezerra (2002), Polari Filho (2005), Pimentel (2005), e Salvador Filho (2007). Assim, o estudo de dosagem teve como referência três requisitos, quais sejam: 1 - proporcionar melhor acabamento superficial; 2 - obter resistência à compressão maior ou igual a 1,2 MPa (Melo; Lima Filho, 2009), compatível com produção de componentes em cor semelhante ao bloco cerâmico (cobogó) e com moldagem sem uso de máquina vibro prensa; 3 - produzir os componentes com a menor massa possível, a partir da definição do teor máximo de agregado de EVA incorporado ao compósito cimentício, sem comprometer a resistência à compressão adequada.

Com base nos resultados obtidos por Bezerra (2002) adotou-se a relação água/aglomerante igual a 0,38 como referência para a moldagem inicial dos blocos EVAzados, embora esse valor tenha sido ajustado para 0,40, quando se fez a adição de pigmentação (óxido de ferro) para produzir blocos com cor semelhante aos cobogós cerâmicos. A propósito, para se determinar o teor de pigmento nessa dosagem foram moldados vários corpos-de-prova cilíndricos (5 cm x 10 cm), uma parte utilizando Cimento Portland branco estrutural e outra parte utilizando cimento Portland composto do tipo CP II F 32, ambos com a incorporação de pigmento artificial, à base de óxido de ferro, com teores que variaram de 1 % até 5 % em relação à massa de cimento. Nessa série de moldagens foi adotada sempre a mesma dosagem 1:3 (cimento: agregados; em volume), mas duas proporções entre os agregados miúdos, areia x EVA (40 % x 60% e 50 % x 50 %, respectivamente).

A areia utilizada foi quartzosa ($D_{máx} = 2,4$ mm, classificada como fina; massa unitária em estado solto igual a 1.750 Kg/m^3), obtida no mercado local. Essa areia apresentou 50% de material retido, considerando a soma nas duas peneiras de aberturas 0,30 mm e 0,15 mm, o que para a indústria de pré-moldados é importante, pois permite um melhor acabamento superficial dos componentes. Os resíduos (aparas das placas de EVA), originadas das indústrias de calçados da região, foram triturados em um moinho de facas, para produzir os agregados leves de EVA, com diâmetro máximo característico ($D_{máx}$) igual a 4,8 mm, o que caracteriza esse material como agregado miúdo, semelhante a uma areia grossa. O agregado de EVA apresentou massa unitária em estado solto igual a 300 kg/m^3 , o que caracteriza esse material como agregado leve.

A partir da combinação entre os resultados de resistência à compressão e pigmentação satisfatória, com os corpos de prova cilíndricos, foi possível determinar as dosagens a serem utilizadas nos testes de moldagem dos blocos EVAzados. Então, privilegiou-se a melhor combinação entre atender à cor desejada (aquela que mais se aproximou da cor dos blocos cerâmicos) e a garantia de leveza com a menor redução na resistência à compressão das amostras.

Os corpos-de-prova cilíndricos foram ensaiados à compressão axial com o auxílio de uma prensa universal, seguindo as recomendações da NBR 5739/2007 (ABNT, 2007). Para esses ensaios foram utilizadas doze amostras de cada dosagem testada, cujos ensaios ocorreram nas idades de controle de 7 dias e 28 dias.

Na sequência, foram selecionadas cinco dosagens diferentes para testar a moldagem e realizar ensaios de resistência à compressão com os blocos EVAzados (NBR 12118, ABNT, 2013 e NBR 15270-3, ABNT, 2005). Nesse caso, foram utilizados somente aqueles traços correspondentes à melhor combinação entre os resultados de resistência à compressão e pigmentação satisfatória, moldados com os corpos de prova cilíndricos. As dosagens testadas com os blocos EVAzados foram identificados por E1, E2, E3, E4 e E5, conforme as proporções indicadas na Tabela 1.

Tabela 1: Compósitos utilizados e respectivos teores de substituição da areia por agregado de EVA
Fonte: Acervo dos autores

Compósitos	Traço	Aglomerante (cimento)		Pigmento	Agregados miúdos		Relação a/c
		Portland CII F-32	Portland branco estrutural		Areia	EVA	
E1	1:3	1	-	-	1,5 (50%)	1,5 (50%)	0,38
E2	1:3	-	1	3%	1,5 (50%)	1,5 (50%)	0,43
E3	1:3	1	-	-	1,2 (40%)	1,8 (60%)	0,38
E4	1:3	1	-	2%	1,2 (40%)	1,8 (60%)	0,40
E5	1:3	1	-	3%	1,2 (40%)	1,8 (60%)	0,40

No processo de moldagem dos blocos EVAzados, na medida em que se preenchia o molde de madeira, o material foi submetido a adensamento, com auxílio de uma mesa vibratória. Imediatamente após a desmoldagem dos blocos, eles foram levados para a cura inicial em uma câmara úmida com umidade elevada (> 90 %) e temperatura ambiente (aproximadamente 27 °C). Após 24 horas, os componentes foram colocados nos tanques de cura, dando continuidade ao regime por imersão em água, saturada com cal, até as idades de controle (7 dias e 28 dias) para ensaios de resistência à compressão e absorção de água (NBR 12118/2013 e a NBR 15270-3/2005 para blocos de concreto e cerâmico, respectivamente).

Antes de levar os blocos EVAzados para os ensaios de resistência à compressão os componentes receberam capeamento com pasta de cimento nas faces de contato com os pratos da prensa universal. O mesmo foi feito com os cobogós cerâmicos (18 cm 18 cm x 10 cm) adquiridos no comércio local (Figura 3).



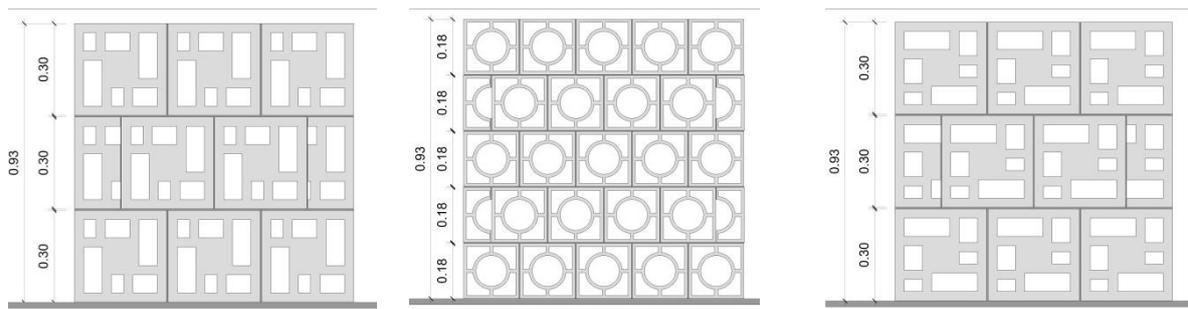
Figura 3: Detalhe da prensa hidráulica durante o ensaio de resistência à compressão dos blocos EVAzados e blocos cerâmicos. Fonte: Acervo dos autores

2.3. Avaliação do comportamento de painéis sob cargas verticais

Para avaliar o comportamento de painéis executados com blocos EVAzados, comparado aos painéis com cobogós cerâmicos, ambos submetidos à cargas verticais foram produzidos alguns exemplares em escala real, com dimensões iguais a 93 cm x 93 cm (comprimento x altura). Para cada tipo de painel foi adotada uma argamassa de assentamento diferente, seguindo o princípio de que a resistência à compressão dessa argamassa deve permanecer entre 70 % a 100 % em relação à resistência do bloco (CASALI, 2008). No caso do painel executado com blocos EVAzados, cujos blocos apresentaram resistência à compressão (aos 28 dias) entre 1,2 MPa (E4) e 1,5 MPa (E3), utilizou-se argamassa de assentamento com dosagem 1:2:10 (cimento: cal: areia; em volume), que apresentou resistência à compressão igual a 1,1 MPa, ou seja, entre 73 % e 91 % relativa à resistência à compressão dos blocos. Na execução do painel com cobogós cerâmicos, cujos componentes apresentaram resistência à compressão média igual 3,4 MPa, foi utilizada argamassa de assentamento 1:2:8 (cimento: cal: areia; em volume), que apresentou resistência à compressão igual a 2,5 MPa, cerca de 74 % relativa à resistência à compressão dos cobogós. A resistência

à compressão das argamassas de assentamento foi determinada experimentalmente em laboratório (NBR 7215; ABNT, 1997).

Somente depois de todos os blocos EVAzados completarem o período de cura de 28 dias, iniciou-se a execução de 4 (quatro) painéis, os quais foram comparados com o painel executado com cobogó cerâmico (Figura 4). No caso dos painéis constituídos por blocos EVAzados foram executados 2 (dois) exemplares para cada cor dos blocos (E3:cinza; E4:vermelho), sendo um de cada executado com os componentes assentados na posição original (PE3o e PE4o) e outro com os componentes assentados com rotação em 90° (PE3r e PE4r).



a) painéis (PE3o e PE4o) com blocos EVAzados (E3 e E4) assentados na posição original

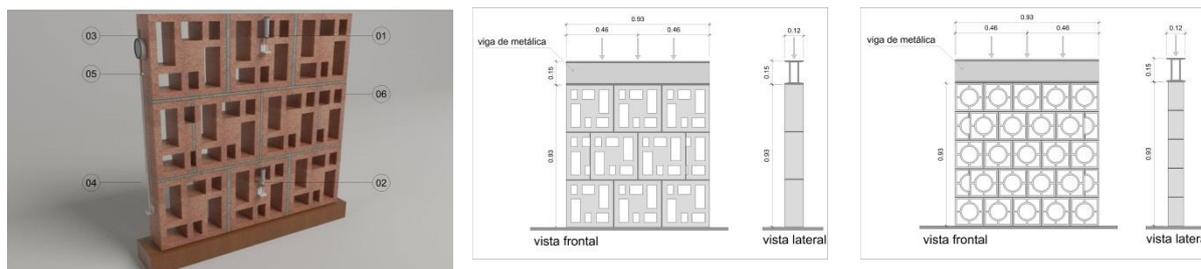
b) painel (PC) com cobogós cerâmicos.

c) painéis (PE3r e PE4r) com blocos EVAzados (E3 e E4) assentados com rotação em 90°.

Figura 4: Desenho esquemático dos painéis ensaiados.

Fonte: Acervo dos autores

A instrumentação para registrar os deslocamentos/encurtamentos dos painéis durante a aplicação das cargas verticais foi a seguinte: dois transdutores em cada face maior dos painéis e um defletômetro em cada lateral correspondente à espessura do painel. Na Figura 5 os pontos 1 e 3 representam transdutores com curso de 25 mm, com finalidade de medir os encurtamentos do trecho superior; os pontos 2 e 4 são transdutores com curso de 10 mm, com finalidade de medir os encurtamentos do trecho inferior; os pontos 5 e 6 são defletômetros com precisão de 0,01 mm, com a finalidade de medir os eventuais encurtamentos na direção correspondente.



a) Esquema de instrumentação dos painéis.

b) esquema de carregamento dos painéis

Figura 5: Detalhes da instrumentação e aplicação da carga vertical nos painéis

Fonte: Acervo dos autores

Os painéis foram submetidos às cargas verticais somente após 28 dias de sua execução, de modo a garantir a cura da argamassa de assentamento. Nesse ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica (referência I-4079), com capacidade de 500 kN, acionada por sistema elétrico (Figura 5). Como não há normas específicas para ensaio de compressão simples em painéis com elementos vazados, decidiu-se utilizar a norma NBR 8949 (ABNT, 1985) como referência, que trata sobre ensaio de compressão simples para paredes de alvenaria estrutural.

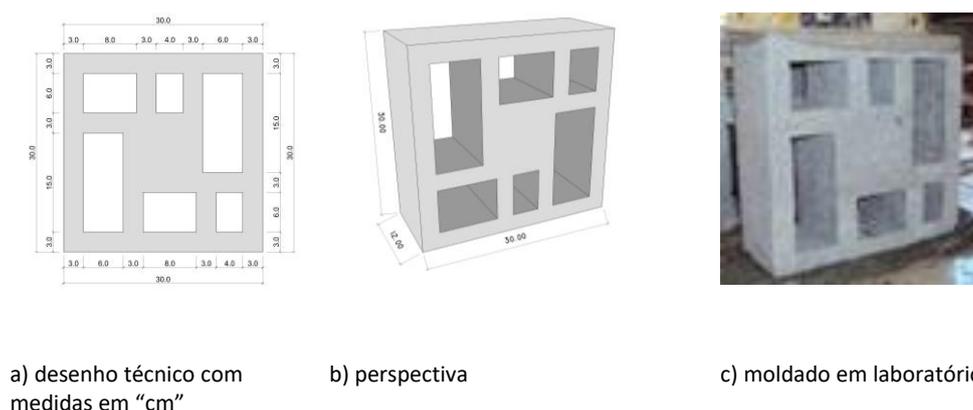
2.4. Redesenho do bloco EVAzado

A partir do desempenho mecânico verificado durante os experimentos realizados, procurou-se analisar a necessidade de redesenho do bloco EVAzado proposto. Tem-se como premissa que os ajustes possíveis devem visar alguns aspectos geométricos, como reduções de algumas medidas, bem como redução da sua massa final, sem descaracterizar o componente inicialmente projetado. Essa etapa, procura incorporar modificações que emergem das avaliações realizadas, complementando o processo de concepção do bloco EVAzado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Concepção do bloco EVAzado

O bloco EVAzado proposto na etapa inicial possui as seguintes dimensões: 12 cm x 30 cm x 30 cm – largura x altura x comprimento (Figura 6). A dimensão proposta atende aos aspectos de identidade visual (cheios e vazios alternados), redução na quantidade das juntas de assentamento, quando da execução de painéis, arranjos modulares no assentamento dos componentes, tornando-os compatíveis com dimensões de eventuais aberturas de portas nos painéis e, finalmente, paletização.



a) desenho técnico com medidas em "cm"

b) perspectiva

c) moldado em laboratório

Figura 6: Detalhes do bloco EVAzado proposto inicialmente

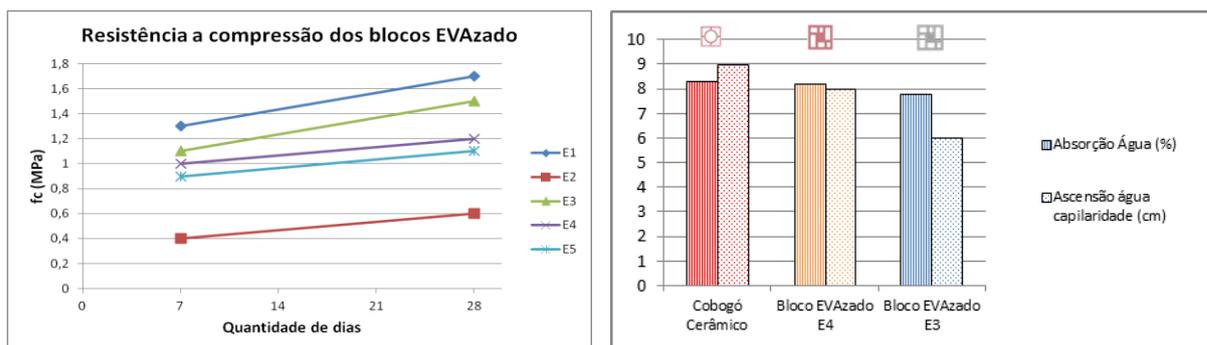
Fonte: Acervo dos autores

Note-se que os vazios foram propositadamente posicionados nas extremidades do componente, de modo a preservar certa simetria e deixar o seu centro mais robusto, visando menor queda na resistência mecânica das unidades. De fato, considera-se o dado já consolidado na literatura (BEZERRA, 2002, POLARI FILHO, 2005, PIMENTEL, 2005) de que, ao se acrescentar nos compósitos cimentícios agregados leves, que são originados de resíduos de EVA, há redução na resistência à compressão do componente. Portanto, inicialmente procura-se compensar tais perdas de resistência à compressão com a definição de uma geometria mais robusta para os blocos EVAzados.

3.2. Testes de produção/caracterização físico-mecânica do bloco EVAzado

A Figura 7 apresenta os resultados de resistência a compressão dos blocos EVAzados (amostras E1, E2, E3, E4 e E5) produzidos nos testes iniciais. Observa-se que o valor máximo para resistência à compressão (1,7 MPa) aos 28 dias foi obtido para a amostra E1 (com massa igual a 13 kg), produzida com cimento Portland comum e teor de 50% de agregado EVA. O

valor abaixo de 1,2 MPa foi obtido com a amostra E2 (0,7 MPa), que foi produzida com cimento estrutural branco, com 50% de agregado de EVA e 3% de pigmento de óxido de ferro. Considerando o valor de referência igual a 1,2 MPa (Melo; Lima Filho, 2009) para resistência à compressão para o bloco EVAzado, descartou-se a sua moldagem utilizando a amostra E2 (cimento estrutural branco) e E5 (com cimento Portland comum). Então, na sequência dos testes optou-se pela produção dos blocos E3 (sem pigmento: blocos na cor cinza) e E4 (com 2% de pigmento: blocos na cor vermelha), por estas dosagens possuírem teor mais elevado de agregado leve de EVA (60%), atender no aspecto da cor desejada (E4) e, também atenderem nos seguintes requisitos: serem mais leves (ambos E3 e E4 com 11 kg) e com resistência à compressão maior ou igual a 1,2 MPa (E3 = 1,5 MPa e E4 = 1,2 MPa; aos 28 dias).



a) resistência à compressão dos blocos EVAzados em posição original: ; b) absorção de água (%) e ascensão de água por capilaridade

Figura 7: Propriedades físicas-mecânicas para os blocos EVAzados (E1, E2, E3, E4 e E5) e cobogó cerâmico.

Fonte: Acervo dos autores

Com respeito aos resultados do ensaio de absorção de água para os blocos EVAzados e cobogós cerâmicos, verificou-se que os blocos EVAzados E3 e E4 possuem um índice de absorção igual a 7,8% e 8,2% respectivamente, enquanto os cobogós cerâmicos foi igual a 8,3%. Então, o bloco EVAzado tem menor absorção de água, quando comparado ao cobogó cerâmico. No que se refere às diferenças de absorção de água entre os blocos EVAzados E3 (7,8%) e E4 (8,2%), deduz-se que isso está relacionado à incorporação do pigmento no bloco E4 e a maior relação a/c (únicas variáveis entre as amostras), corroborando as afirmações de Salvador Filho (2007), quando diz que por ser o pigmento um material extremamente fino, isso aumenta a demanda de água na mistura dos materiais, criando um maior número de vazios na microestrutura e, posteriormente, favorecendo a maior absorção de água pelo bloco.

Nos ensaios para verificação da ascensão de água por capilaridade realizados com as mesmas amostras (blocos EVAzados - E3 e E4 - e cobogó cerâmico – Figura 8) observou-se que os valores são crescentes na seguinte ordem: 6 cm para E3; 8 cm para E4 e 9 cm para o cobogó cerâmico. Portanto, a ascensão capilar para o cobogó cerâmico é também maior do que aquela verificada para o bloco EVAzado com pigmento (E4).

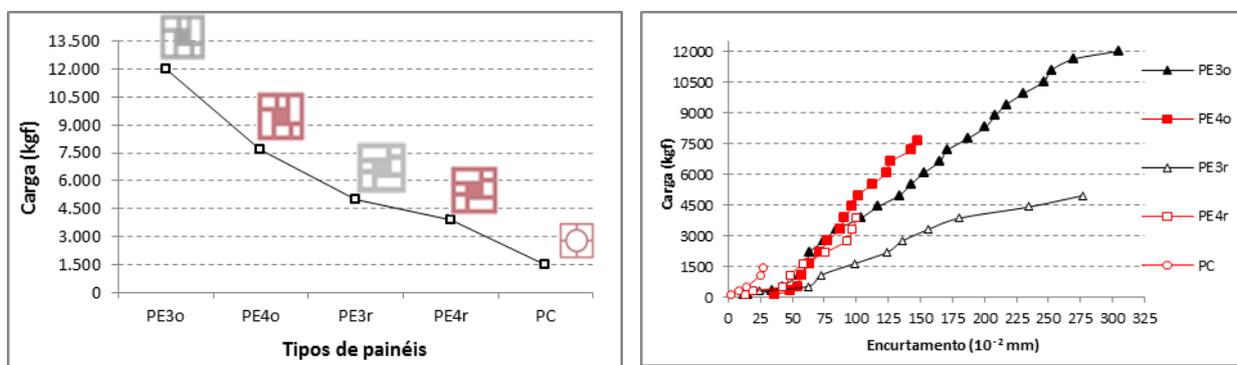


Figura 8: Ascensão capilar bloco EVAzado e cobogó cerâmico.

Fonte: Acervo dos autores

3.3. Comportamento de painéis submetidos às cargas verticais

A variação nos resultados das cargas de ruptura nos painéis ensaiados é notável (Figura 9a), com os maiores valores para os painéis com blocos EVAzados, assentados na posição original (PE3o e PE4o), cujas cargas de ruptura atingem 12.032 kgf (PE3o) e 7.652 kgf (PE4o), respectivamente, lembrando que o último foi executado com componentes pigmentados (2 %). Os painéis que foram executados com os blocos EVAzados assentados na posição com rotação em 90° apresentaram resultados menores, com cargas de ruptura iguais a 4.990 kgf (PE3r) e 3881 kgf (PE4r), respectivamente. Tais resultados evidenciam que devido à disposição dos espaços vazados do bloco EVAzado, conforme a posição de assentamento dos componentes, a capacidade de suportar cargas verticais é muito reduzida, com variações entre 59 % (PE3o x PE3r) e 49 % (PE4o x PE4r). Em relação ao efeito da pigmentação dos componentes percebe-se que ocorre também queda em até 36 % (PE3o x PE4o) na capacidade de carga vertical do painel, considerando os componentes assentados na posição original. Tal efeito foi bem menor quando se comparam os painéis PE3r x PE4r (blocos EVAzados com rotação 90°) com queda de 22 % na capacidade de suportar carga vertical.



a) cargas de ruptura dos painéis ensaiados

b) encurtamentos médios dos painéis ensaiados

Figura 9: Resultados de cargas de ruptura e encurtamentos médios dos painéis ensaiados, em função da carga vertical atuante.

Fonte: Acervo dos autores

Os resultados apresentados na Figura 9 também confirmam a maior capacidade de suporte das cargas verticais para todos os painéis com blocos EVAzados, comparado ao painel com cobogós cerâmicos (1.497 kgf). Na comparação entre painéis com blocos EVAzados e com cobogós cerâmicos é importante ressaltar que as maiores cargas de ruptura são diretamente ligados à geometria mais robusta do bloco EVAzado (Figura 8), que possui maiores dimensões (bloco EVAzado: 30 cm x 30 cm x 12 cm; cobogó cerâmico: 18 cm x 18 cm x 10 cm). Além disso, as paredes/nervuras internas do bloco EVAzado têm maiores espessuras, o que acaba contribuindo para suportar e distribuir as tensões de maneira mais eficiente quando comparada ao bloco cerâmico.

O painel PE3o se destaca por apresentar as primeiras fissuras por volta dos 9.000 kgf, ou seja, só após receber 75% da carga de ruptura (12.032 kgf) e, teve encurtamento correspondente à carga de ruptura igual a 3,05 mm. O painel PE4o teve encurtamento menor (1,48 mm), correspondente à carga de ruptura (7.652 kgf). O painel PE3r teve o encurtamento igual a 2,77 mm, seguido do painel PE4r que teve o encurtamento igual a 1,00 mm, correspondente às cargas de ruptura, 4.990 kgf e 3.881 kgf, respectivamente. Contudo, nesses últimos painéis, PE3r e PE4r, as primeiras fissuras tendem a surgir só a partir da aplicação de 63% da carga de ruptura. Então, houve sempre redução na carga de ruptura ao assentar os bloco EVAzados em posição com rotação em 90°, mas os maiores encurtamentos ocorreram para os painéis executados com os componentes sem pigmentação (PE3o e PE3r), embora

com cargas de ruptura muito diferentes. Por outro lado, a pigmentação dos componentes parece ter produzido dois efeitos acumulados nos resultados com os painéis com blocos EVAzados: reduções nas cargas de ruptura e no encurtamento dos painéis, tornando-os menos dúcteis. Considerando que o valor referência maior ou igual a 1,2 MPa (Tabela 2) para a resistência à compressão dos blocos EVAzados não foi atendido quando os componentes foram assentados na posição com rotação em 90 ° (PE3r e PE4r), os resultados com os painéis ensaiados indicam que uma combinação interessante seria utilizar os blocos EVAzados assentados apenas na posição original (PE3o), para garantir maiores cargas de ruptura, mas com possibilidade de pigmentação (PE4o), de modo que não se tenha redução maior do que 50% na capacidade de deformação.



a) painel com bloco EVAzado assentados na posição original com ruptura dúctil



b) painel com bloco EVAzado pigmentado assentados com rotação em 90º com ruptura dútil



c) painel com cobogós cerâmicos com ruptura frágil e esmagamento dos componentes inferiores

Figura 10: Imagens dos painéis submetidos à aplicação de cargas verticais com destaque para fissurações e os modos de ruptura diferentes.

Fonte: Acervo dos autores

Na Figura 10b pode-se constatar que o encurtamento para a carga de ruptura do painel com cobogós cerâmicos (0,28 mm) é bem inferior, comparado aos painéis com os blocos EVAzados (cerca de ¼ comparado ao PE4r), o que confirma a característica frágil dos cobogós cerâmicos. De fato, o painel com cobogós cerâmicos após receber carga vertical com cerca de 35 % da carga de ruptura (1.497 kgf), já apresenta o surgimento das primeiras fissuras, as quais se manifestam nos componentes laterais, localizados na parte superior do painel e se propagaram em diagonal por toda sua extensão, até alcançar a parte inferior. O fenômeno do esmagamento de todos os cobogós cerâmicos, localizados na fiada inferior foi percebido, devido à concentração de esforços neste ponto do painel (Figura 10c). Vale destacar que tal fenômeno não acontece nos painéis com blocos EVAzados, que mesmo após atingirem a carga de ruptura se mantém na posição vertical, confirmando a característica dúctil. Portanto, os painéis com blocos EVAzados além de apresentarem maiores capacidade de cargas, resultaram em maiores capacidades de deformação (maiores encurtamentos) antes de atingirem a ruptura, quando comparado ao painel com cobogós cerâmicos.

Com respeito à eficiência de cada sistema de painel vazado analisado (relação entre as resistências à compressão do painel e do respectivo bloco utilizado para sua execução – Tabela 2), pode-se afirmar que quando se utilizam os blocos EVAzados a eficiência varia entre 0,66 a 0,53 (dentro da faixa dos padrões aceitáveis – RAMALHO; CORRÊA,2003), enquanto para o painel com cobogós cerâmicos ela foi muito baixa (0,06).

Tabela 2: Eficiência média para os painéis e os cobogós avaliados.

Fonte: Acervo dos autores

Amostras	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)		Eficiência
	Painel	Bloco	
PE3o: Bloco EVAzado; posição original	1,0	1,5	0,66
PE4o: Bloco EVAzado; 2% pigmento; posição original	0,7	1,2	0,58
PE3r: Bloco EVAzado; posição rotação 90º	0,5	0,7	0,71
PE4r: Bloco EVAzado; 2% de pigmento: posição rotação 90º	0,3	0,6	0,50
PC: Cobogó Cerâmico	0,2	3,4	0,06

A partir dessas análises é interessante destacar o potencial que o bloco EVAzado proposto demonstrou frente à possibilidade de amenizar aquele tipo de patologia comum nos edifícios referido inicialmente nesse artigo, a qual ocorre normalmente na interface entre a estrutura de concreto armado e painéis de cobogós cerâmicos. Fenômenos que se manifestam, por vezes, com fissurações e até esmagamentos desses cobogós, de modo semelhante como os ensaios mostraram.

Por fim, são destacadas as seguintes características dos painéis com blocos EVAzados comparado aos com cobogós cerâmicos: maiores cargas de ruptura combinadas com maiores deformações ou encurtamentos; maiores carregamentos até o surgimento das primeiras fissuras e adequada eficiência do painel (relação entre resistência à compressão do painel e do bloco). Além disso, também se pode destacar a menor absorção de água e a menor ascensão de água por capilaridade para os blocos EVAzados, comparado aos cobogós cerâmicos, mas com valores aceitáveis para garantir, da mesma forma, boa aderência entre os componentes e a argamassa de assentamento. No entanto, apesar desses resultados serem bastante promissores, considera-se importante identificar eventuais contribuições no desempenho mecânico dos painéis em função do redesenho do bloco EVAzado proposto.

3.4. Redesenho do bloco EVAzado

Os ensaios com os painéis possibilitaram identificar alguns problemas no desempenho mecânico, sendo necessário a redefinição de alguns aspectos geométricos, o que enseja um redesenho do bloco EVAzado proposto, com vistas a obtenção de possíveis resultados mais favoráveis. A configuração do componente foi pensada inicialmente para ser mais robusta e com maiores espessuras nas suas nervuras/paredes laterais (3,0 cm), de modo que pudesse compensar as perdas por utilizar um compósito leve (concreto EVA) em sua fabricação. Também havia dúvidas se o processo de moldagem, com as limitações da produção em escala de laboratório, poderia estabelecer problemas nos componentes, que dificultassem a sua manipulação durante a desmoldagem e mesmo na execução dos painéis.

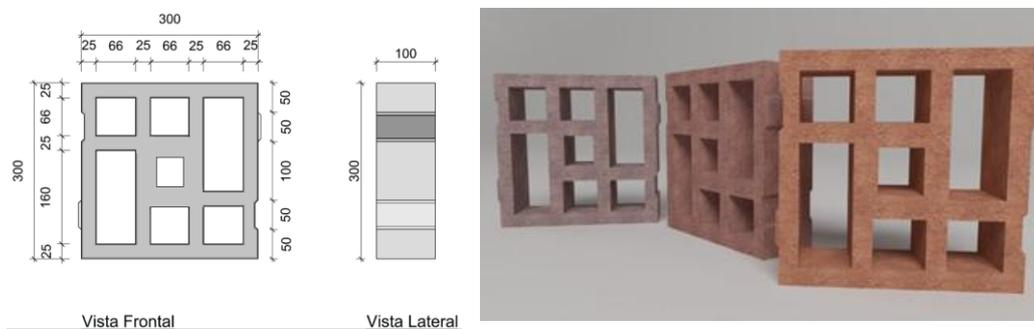
A partir dos resultados dos ensaios realizados, observou-se que a resistência à compressão dos blocos EVAzados (E3 e E4) atingiram valores dentro do esperado (maior ou igual a 1,2 MPa), mesmo com a pigmentação adotada (E4) e que, o comportamento mecânico dos respectivos painéis, com as variações testadas na posição de assentamento dos blocos, confirmaram um desempenho mecânico que ainda pode ser melhorado, desde que se façam pequenos ajustes nos componentes. De fato, constatou-se a necessidade de ajustes na geometria do componente, de modo a evitar o desencontro entre as suas nervuras verticais internas, baseando-se na percepção da ocorrência e propagação de fissuras durante os ensaios de carregamento vertical dos painéis (Figura 11).



Figura 11: Identificação dos problemas de geometria do componente comprometendo o seu desempenho mecânico

Fonte: Acervo dos autores

Então, optou-se por realizar uma série de modificações no desenho do bloco EVAzado (Figura 12), tais como: eliminar os desencontros entre nervuras internas; reduzir a massa do componente através da retirada parcial do núcleo maciço e também da redução de várias medidas (redução da largura do bloco para 10 cm e redução da espessura das nervuras verticais e horizontais para 2,5 cm). Outra mudança foi definir encaixes laterais, do tipo alto e baixo relevo, alternados na mesma lateral do componente, como uma medida importante para orientar uma única posição para o seu assentamento, o que certamente definirá uma combinação mais interessante entre a resistência à compressão (carga de ruptura) e a capacidade de deformação do painel. Finalmente, propõe-se a variação cromática a partir da adoção de diferentes teores de pigmentação (ex.: 2,0 %, 1,5 % e 1,0 %), que se mostraram eficientes nos testes realizados no estudo de dosagem e aplicado no bloco EVAzado E4.



a) bloco EVAzado redesenhado com reduções de medidas, com eliminação dos desencontros entre as nervuras e com a introdução de encaixes laterais

b) Proposta de variação cromática entre elementos possibilitada pelas diferenças de teores de pigmento a serem utilizados nos compósitos.

Figura 12: Proposta de redesenho para o bloco EVAzado (100 mm x 300 mm x 300 mm) a partir da constatação dos problemas no caminhamento dos esforços, quando aplicado nos painéis submetidos a carregamento vertical

Fonte: Acervo dos autores

4. CONCLUSÕES

Com base nos materiais utilizados, nos procedimentos adotados e nos resultados alcançados no presente estudo é possível concluir que:

- O processo de concepção aplicado ao estudo com o bloco EVAzado se mostrou importante como método de trabalho, com destaque para as três fases adotadas, que se retroalimentam, iniciando-se com o desenho de um protótipo, passando pelos testes de produção e das avaliações/verificações físicas-mecânicas, até se chegar ao redesenho final do componente, cujos resultados garantiram identidade visual e adequações dimensional, física e mecânica, compatíveis com variação cromática proposta;
- O componente (bloco EVAzado), proposto como material não convencional, por utilizar resíduos da indústria calçadista como agregados leves, foi de fácil produção e manipulação após desmoldagem, bem como atendeu adequadamente aos requisitos estabelecidos, tais como, bom acabamento superficial, resistência à compressão maior do que 1,2 MPa e compatibilidade entre leveza e propriedades físicas-mecânicas. Destaca-se ainda os valores adequados para absorção de água e ascensão de água por capilaridade para os blocos EVAzados;
- Os painéis executados com o bloco EVAzado, quando submetidos à cargas verticais, apresentaram maiores capacidades de suportar cargas e deformação, comparados àqueles com cobogós cerâmicos. Esse comportamento confirmou a principal característica desejável na proposta do bloco, que é a ductilidade e, indica que, com a aplicação deste componente em painéis, há potencial de prevenção daquelas patologias relacionadas à interface entre estrutura resistente e painéis vazados, cuja manifestação normalmente é pela fissuração e até esmagamento dos cobogós cerâmicos;
- No redesenho do bloco EVAzado foram incorporadas mudanças geométricas importantes como o alinhamento entre as nervuras internas, que certamente compatibilizam melhor a distribuição dos esforços e a capacidade de carregamento e deformação do painel. Além disso, vale destacar os ajustes dimensionais adotados para reduzir a massa dos componentes e os detalhes dos encaixes laterais entre elementos, como uma medida importante para orientar uma única posição para o seu assentamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118/2013**: *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15270-3/2005**: *Componentes cerâmicos*. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5739/2007**: *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7215/1997**: *Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 8252/2011**: *Paletes — Dimensões básicas*. Rio de Janeiro, 2011a.

_____. **NBR 8334/2011**: *Paletes — Classificação*. Rio de Janeiro, 2011b.

_____. **NBR 8949/1985: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio**, Rio de Janeiro, 1985.

BEZERRA, A. J. V. *Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural*. 2002. *Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.*

CASALI, J. M. *Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência*. 2008. *Tese (Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.*

DE MELO, A B.; LIMA FILHO, M. R. F. *Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA*. *Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 37-49, out./dez. 2009.*

GARLET, G. *Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil*. 1998. *Dissertação (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.*

MASSETTO, L. T.; SABBATINI, F. H. *Estudo comparativo da resistência das alvenarias de vedação de blocos utilizadas na região de São Paulo*. In: *Congresso Latino-Americano em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Soluções para o Terceiro Milênio, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP, p. 79-86, 1998.*

PFEFFERMANN, O. *Les fissures dans les constructions conséquence de phénomènes physiques naturels*. *Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, v.21, n.250, p.1453-82, 1968.*

PIMENTEL, U. H. O. *Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – bloco EVANG*. 2005. *Dissertação (Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.*

POLARI FILHO, R. S. *Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da Indústria de calçados na Construção Civil: Bloco EVA – Uma alternativa às alvenarias das construções – Dissertação (Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.*

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. *Projetos de edifícios de alvenaria estrutural*. São Paulo: Pini, 2003.

ROCHA, F. M. D.; MELO, A. B.; SILVA, E. P.; Torres, S. M. *Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social*. *Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 7-23,abr./jun. 2013.*

SALVADOR FILHO, J. A. A. *Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas*. 2007. *Tese (Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.*

THOMAZ, E. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. São Paulo: Pini, 1989.

TRAMONTIN, A. P. *Avaliação experimental dos métodos de prevenção de fissuras na interface alvenaria de vedação e pilar de concreto*. *Dissertação (Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2005.*