

## Influência do método de aplicação da argamassa no comportamento à compressão uniaxial de blocos vazados de concreto.

R. García-Cedeño<sup>1</sup> , J. Álvarez-Pérez<sup>1\*</sup> , M. Mesa-Lavista<sup>1</sup> , F. A. Carpio-Santamaría<sup>2</sup> ,  
J. H. Chávez-Gómez<sup>1</sup> , R. González-Alcorta<sup>1</sup> , G. Fajardo-San Miguel<sup>1</sup> 

\* Autor de Contato: [jose.alvarezpr@uanl.edu.mx](mailto:jose.alvarezpr@uanl.edu.mx)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i1.703>

Recebido: 08/09/2023 | Correções recebidas: 17/10/2024 | Aceito: 29/11/2024 | Publicado: 01/01/2025

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar como a colocação do capeamento influencia o comportamento à compressão uniaxial de blocos de concreto vazados. Foram analisados dois métodos de colocação: 1) sobre a área bruta e 2) nas faces laterais. Foi realizado um programa experimental e uma análise estatística para identificar diferenças significativas entre os dois métodos. Os resultados mostraram que os blocos com capeamento nas faces laterais apresentaram uma redução de 12,5% na capacidade de carga e de 11,33% na rigidez, em comparação com os capeados sobre a área bruta. Este estudo foca em blocos de concreto vazados e conclui que o uso de um denominador variável leva a uma interpretação errônea de sua resistência.

**Palavras-chave:** alvenaria; blocos ocios de concreto; colocação de argamassa.

**Citar como:** García-Cedeño, R., Álvarez-Pérez, J., Mesa-Lavista, M., Carpio-Santamaría, F. A., Chávez-Gómez, J. H., González-Alcorta, R., Fajardo-San Miguel, G. (2025), “Influência do método de aplicação da argamassa no comportamento à compressão uniaxial de blocos vazados de concreto”, Revista ALCONPAT, 15 (1), pp. 1 – 18, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i1.703>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, Boca del Río-Veracruz, México.

### Contribuição de cada autor

este trabalho o autor R. García-Cedeño contribuiu com a experimentação e recolha de dados (100%) aconselhada pelos autores G. Fajardo-San Miguel (25%), J. Álvarez-Pérez (25%), M. Mesa - Lavista (25%) e JH Chávez-Gómez (25%). Os autores J. Álvarez-Pérez, M. Mesa-Lavista, G. Fajardo-San Miguel e F. A. Carpio-Santamaría contribuíram com 25% cada para a abordagem metodológica geral. Os autores M. Mesa-Lavista (16%), G. Fajardo-San Miguel (16%), J. Álvarez-Pérez (20%), R. González-Alcorta (16%), FA Carpio-Santamaría (16%) e J. H. Chávez-Gómez (16%) contribuíram para a análise e discussão dos resultados. Todos os autores participaram igualmente da redação e das conclusões gerais do trabalho.

### Licença Creative Commons

Copyright (2025) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

### Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2025, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2025.

## Influence of the mortar placement method on the uniaxial compression behavior of hollow concrete blocks.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate how capping placement affects the uniaxial compressive behavior of hollow concrete blocks. Two placement methods were analyzed: 1) on the gross area and 2) on the lateral faces. An experimental program and statistical analysis were conducted to identify significant differences between the methods. The results showed that blocks capped on the lateral faces exhibited a 12.5% decrease in load capacity and an 11.33% decrease in stiffness compared to those capped on the gross area. This study focuses on hollow concrete blocks and concludes that using a variable denominator leads to a misinterpretation of their strength.

**Keywords:** masonry; hollow concrete blocks; mortar placement.

## Influencia de la forma de colocación del mortero en el comportamiento a compresión uniaxial de los bloques huecos de concreto.

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar cómo la colocación del cabeceo influye en el comportamiento a compresión uniaxial de bloques huecos de concreto. Se analizaron dos métodos de colocación: 1) sobre el área bruta y 2) en las caras laterales. Se realizó un programa experimental y un análisis estadístico para identificar diferencias significativas entre ambos métodos. Los resultados mostraron que los bloques con cabeceo en las caras laterales presentaron una disminución del 12.5% en la capacidad de carga y del 11.33% en la rigidez, en comparación con los cabeceados sobre el área bruta. Este estudio se enfoca en bloques huecos de concreto y concluye que el uso de un denominador variable conduce a una interpretación errónea de su resistencia.

**Palabras clave:** mampostería; bloques huecos de concreto; formas de colocación del cabeceo.

Nomenclatura:

BHC: Concreto Oco ou Bloco de Concreto

$f_{pb}$ : Tensão compressiva sobre a área bruta de BHC (MPa)

$f_{pn}$ : Tensão compressiva sobre a área líquida do BHC (MPa)

$f_{pe}$ : Tensão compressiva na área lateral do BHC (MPa)

$E_{pb}$ : Módulo de elasticidade sobre a área bruta de BHC (MPa)

$E_{pn}$ : Módulo de elasticidade sobre a área líquida do BHC (MPa)

$E_{pe}$ : Módulo de elasticidade sobre a área lateral do BHC (MPa)

$P_b$ : Carga de compressão na área bruta do CBS (kN)

$P_e$ : Carga de compressão na área lateral do BHC (kN)

$A_b; A_n; A_e$ : Área bruta; rede e lateral do BHC (cm<sup>2</sup>)

$\epsilon_c$ : Deformação correspondente à tensão máxima (mm/mm)

$\epsilon_u$ : Deformação final (mm/mm)

$\gamma_c$ : Peso por unidade de volume (kN/m<sup>3</sup>)

### Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria é o material de construção por excelência em habitações multifamiliares e obras sociais de pequena e média altura. Este material é composto por unidades (tijolos ou blocos) e a argamassa de cola. Entre as principais variáveis a serem levadas em consideração para garantir um projeto (ou revisão) que atenda à segurança estrutural, estão a resistência à compressão uniaxial e o módulo de elasticidade de seus componentes. Nesse sentido, os procedimentos experimentais e analíticos para obtenção dessas propriedades mecânicas consideram as propriedades mecânicas da unidade e da argamassa. Dentro da alvenaria, as unidades (tijolos ou blocos) são as que mais contribuem para a resistência à compressão do compósito. No entanto, sabe-se que existem outras variáveis que influenciam a resistência à compressão uniaxial e o modo de ruptura da alvenaria. Entre essas variáveis estão: o tipo de unidade (bloco/tijolo), a esbelteza, a espessura e a forma de assentamento da argamassa (Álvarez-Pérez, et. al., 2020; Mohamad, et. al, 2007; Caldeira, et. al., 2020; Zahra, et. al. 2021; Sarhat y Sherwood, 2014; Zahra y Dhanasekar, 2018). Este artigo se concentra na determinação da resistência à compressão uniaxial e do módulo de elasticidade de concreto oco ou blocos de concreto (BHC), empregando duas variantes de colocação de passo. Essas duas variantes de colocação de tom foram (ver Figura 1a): 1) colocação do pitch sobre a área bruta do BHC (ou conhecido como *Concha completa*) e, 2) colocação do pitch nas faces laterais do BHC (ou conhecido como *rosto Shell roupa de cama*).

O passo do BHC sobre a área bruta é o procedimento experimental estabelecido pela regulamentação (NMX-ONNCCE-C-036, 2010; TMS 602 / ACI 530.1 / ASCE 6, 2013) para a determinação da resistência e módulo de elasticidade no BHC, enquanto o passo sobre a área lateral é estabelecido nos regulamentos (S304.1-04, 2004; AS 3700, 2018) para unidades ocas.

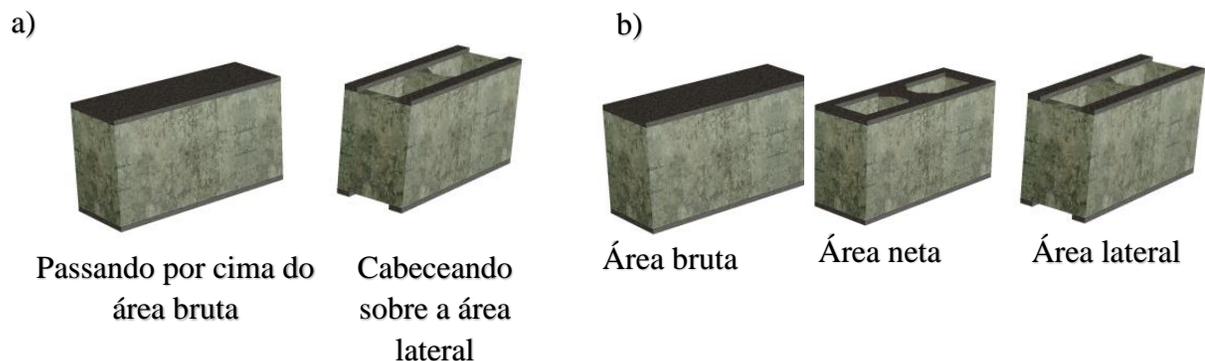


Figura 1. Representação de: a) Diferentes formas de arremesso, b) Áreas envolvidas no cálculo das forças. Fonte: Autores.

Padrões Mexicanos de Projeto e Construção de Alvenaria (NTC-Mampostería, 2023; NMX-ONNCCE-C-464, 2010), estabelecer a colocação da argamassa na área líquida do BHC (Figura 1a). No entanto; na prática profissional é comum a colocação de argamassa nas faces laterais do CBS (Figura 2), que se estende a outras partes do mundo (Sarhat & Sherwood, 2014; Lima, 2021).

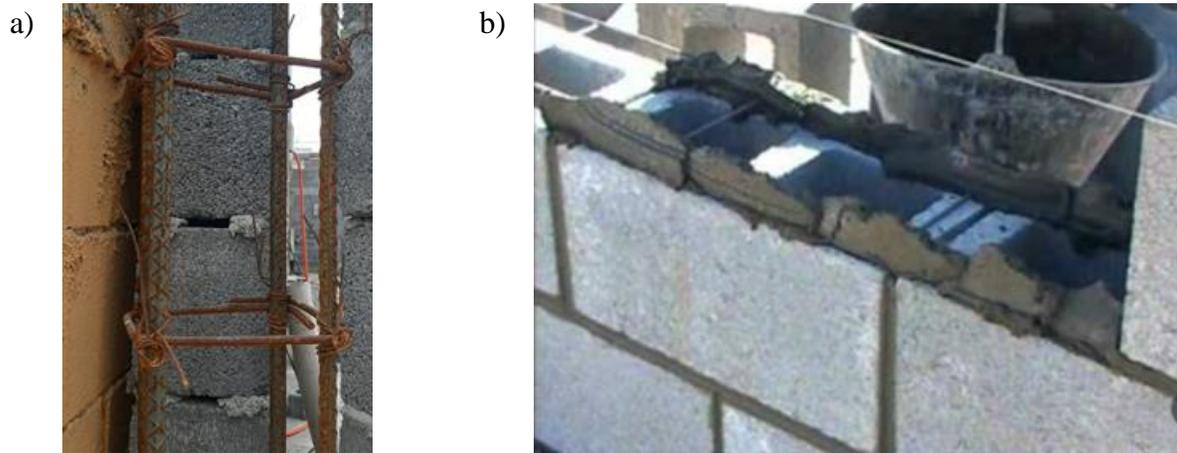
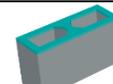
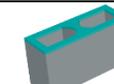
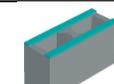


Figura 2. Exemplos de colocação de argamassa nas faces laterais em alvenaria BHC em: a) parede acabada e, b) parede em construção. Fonte: elaboração própria.

Regulamentos de projeto nacionais e internacionais mostram diferentes abordagens para a colocação de argamassa em alvenaria (Tábua 1).

Tábua 1. Principais variáveis e expressões propostas por algumas normas de alvenaria, para a determinação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos BHCs. Fonte: elaboração própria.

Variável	México (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Mampostería, 2023; NMX-ONNCCE-C-464, 2010; ASTM-C-1552, 2016)	EUA (TMS 602 / ACI 530.1 / ASCE 6, 2013; ASTM-C-140-17A, 2017; ASTM-C-1552, 2016)	Canadá (S304.1-04, 2004)
Colocação do campo no BHC	Sobre a área bruta 	Sobre a área bruta 	Sobre a área lateral 
Aplicação de argamassa para colocação de alvenaria in situ.	Sobre a área líquida 	Sobre a área líquida 	Nas faces laterais 
Resistência à compressão do BHC	$f_{pb} = \frac{P_b}{A_b} \cdot FC$	$f_{pn} = \frac{P_b}{A_n} \cdot FC$	$f_{pe} = \frac{P_e}{A_e} \cdot FC$
Módulo de elasticidade BHC	Secante em linha reta a 40% do esforço máximo.	Secante em linha reta entre 5% e 35% do esforço máximo.	Secante em linha reta entre 5% e 33% do esforço máximo.

*FC*: Fator de correção para esbeltez. Considere a influência da esbeltez na estimativa da resistência à compressão uniaxial do corpo de prova. A determinação do FC varia de acordo com os códigos de projeto.  
*f<sub>pb</sub>*: Tensão compressiva sobre a área bruta de BHC (MPa)  
*f<sub>pn</sub>*: Tensão compressiva sobre a área líquida do BHC (MPa)  
*f<sub>pe</sub>*: Tensão compressiva na área lateral do BHC (MPa)  
*P<sub>b</sub>*: Carga de compressão na área bruta do CBS (kN)  
*P<sub>e</sub>*: Carga de compressão na área lateral do BHC (kN)  
*A<sub>b</sub>*; *A<sub>n</sub>*; *A<sub>e</sub>*: Área bruta; rede e lateral do BHC, respectivamente (cm<sup>2</sup>)

Por exemplo: nos regulamentos mexicanos (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Maçonaria, 2023; NMX-ONNCCE-C-464, 2010) estabelece-se que a argamassa deve ser colocada na área

líquida da unidade; no entanto, o cálculo das tensões de compressão normais é feito considerando a área bruta. Por outro lado, os padrões de teste e projeto dos Estados Unidos da América (TMS 602 / ACI 530.1 / ASCE 6, 2013; ASTM-C-140-17A, 2017; ASTM-C-1552, 2016), estabelecem que o cálculo das tensões médias de compressão é realizado sobre a área líquida do BHC.

Na literatura especializada revisada (Álvarez-Pérez, et. al., 2020; Mohamad, et. al, 2007; Caldeira, et. al., 2020; Zahra, et. al. 2021; Sarhat & Sherwood, 2014; Zahra & Dhanasekar, 2018; Mahamid & Westin, 2020; Thamboo, et al. 2013; Al-Amoudi e Alwathaf, 2014; Mohamad, 2017; Martins, et. al, 2018; Fortes, et. al., 2017; Barbosa, et. A., 2010), há pouca informação sobre os efeitos da colocação do passo na resistência e no módulo de elasticidade das unidades de alvenaria. Os poucos estudos sobre a forma como a argamassa é colocada, em geral, têm se concentrado no impacto que ela tem em prismas ou estacas de alvenaria de duas (Sarhat, 2014) e três fileiras (Zahra, 2021). Nesse sentido, apenas os estudos relatados por Tatheer Zahra et al. constituem o principal antecedente encontrado na literatura sobre o impacto da colocação do passo nas unidades de alvenaria. Tatheer Zahra et al. (2021) estudaram a influência da colocação do passo na resistência à compressão uniaxial dos BHCs como parte de um estudo sobre estacas de três cursos de alvenaria BHC. Eles testaram blocos de concreto com dois furos com dimensões nominais de 390 x 190 x 90 mm (comprimento x altura x espessura) e com uma relação área líquida / bruta de 0,74. Para dar conta das duas variantes de colocação de argamassa, eles usaram um passo com tiras de compensado de 6 mm de espessura para cobrir a área bruta e a área lateral dos BHCs. Os resultados obtidos mostraram que a carga aplicada na área bruta da CBS foi maior do que na área lateral em 28%, reduzindo essa diferença em termos de forças devido às diferenças entre as áreas, em 19,87%. ( $A_b$ ,  $A_n$  y  $A_e$ )

A partir da revisão bibliográfica realizada (Álvarez-Pérez, et. al., 2020; Mohamad, et. al, 2007; Caldeira, et. al., 2020; Zahra, et. al. 2021; Sarhat & Sherwood, 2014; Zahra & Dhanasekar, 2018; Mahamid & Westin, 2020; Thamboo, et al. 2013; Al-Amoudi e Alwathaf, 2014; Mohamad, 2017; Martins, et. al, 2018; Fortes, et. al., 2017; Barbosa, et. A., 2010) evidenciam-se três aspectos fundamentais, tais como:

- Não foram relatadas investigações associadas ao modo de ruptura do BHC e do meio-bloco de concreto (MBHC) dependendo do tipo de colocação da argamassa. Sabe-se que para a elaboração de uma parede de alvenaria são necessários o BHC e o MBHC nas extremidades laterais da parede. Nesse sentido, supõe-se que as diferenças no comportamento mecânico do MBHC e do BHC não sejam significativas.
- Os resultados relatados enfocam o comportamento de compressão uniaxial de prismas ou estacas de alvenaria de dois e três cursos.
- Não há consenso sobre qual área da CBS deve ser utilizada para determinar a resistência e o módulo de elasticidade das peças de alvenaria. ( $A_b$ ,  $A_n$  y  $A_e$  )

A resistência à compressão de blocos ocios de concreto (BHC) é o principal parâmetro mecânico utilizado como índice de controle de qualidade para peças de alvenaria (S304.1-04, 2004; NTC-Maçonaria, 2023; Eurocódigo, 2005). Além disso, a seleção de uma peça de alvenaria para uso estrutural depende fundamentalmente de sua resistência à compressão. Adicionalmente, sabe-se que a resistência à compressão da alvenaria depende da argamassa e da peça, sendo a peça o fator mais determinante (Eurocódigo, 2005; Barbosa & Hanai, 2005).

Por esse motivo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar como a forma de lançamento influencia blocos ocios de concreto, analisando seu impacto na resistência à compressão uniaxial e no módulo de elasticidade. A hipótese afirma que o arranjo do passo afeta significativamente o comportamento de compressão uniaxial desses blocos.

## 2. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

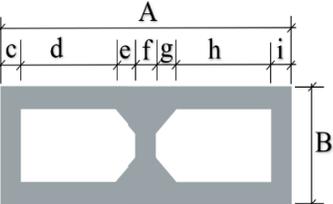
### 2.1. Materiais

Os BHCs deste estudo foram selecionados aleatoriamente de um único fabricante. São blocos feitos de cimento-areia de célula dupla, com um tamanho máximo de areia grossa de 3/8. Suas dimensões nominais eram 390 mm x 190 mm x 150 mm (comprimento x altura x espessura), ver Tábua 2. Como parte do programa experimental, 20 BHC foram testados em compressão uniaxial (Tábua 2) divididos em dois grupos: 10 BHCs com o pitch sobre a área bruta, conforme indicado na referência (NMX-ONNCCE-C-036, 2013) e 10 BHCs com o pitch colocado nas faces laterais.

Para garantir a distribuição adequada da carga nos corpos de prova (BHCs), todas as peças foram lançadas usando uma combinação de enxofre e cinzas volantes. Para tanto, foi utilizada uma relação 2:1 (enxofre: cinzas), obtendo-se uma resistência à compressão uniaxial média do material de passo de 45,6 MPa, garantindo os requisitos estabelecidos pela NMX-C-036 (2013). Os BHCs foram armazenados em laboratório a uma temperatura e umidade relativa inferior a 80%.  $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$

Tábua 2. Média de algumas propriedades físicas e geométricas dos BHCs.

Fonte: Autores.

			$\gamma_c$ ( $\text{N}/\text{m}^3$ )	$A_n$ ( $\text{cm}^2$ )	$A_b$ ( $\text{cm}^2$ )	$A_e$ ( $\text{cm}^2$ )	$\frac{A_n}{A_b}$	$\frac{A_e}{A_n}$	$\frac{A_e}{A_b}$
			19300	333.6	580	222.0	0.57	0.66	0.38
A (cm)	B (cm)	c (cm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	g (mm)	h (mm)	i (mm)	altura (mm)
39.50	14.70	27	100	56	31	57	100	27	19.50

### 2.2. Instrumentação

Para a execução dos testes, foi utilizada uma máquina INSTRON DX 600 com capacidade de carga de 60 toneladas. Os ensaios dos blocos foram realizados sob um controle de deslocamento a uma velocidade de 0.006 mm/s. Para garantir o nivelamento e distribuição corretos da carga, um assento esférico e placas de aço de 5 cm de espessura (Figura 3a). Extensômetros e dois transdutores de deslocamento (LVDTs) foram colocados para obter as curvas tensão-deformação dos corpos de prova. Os extensômetros foram colocados um na posição vertical e o outro na posição horizontal. Dessa forma, as deformações horizontais e transversais foram obtidas para a posterior determinação da relação de Poisson (Figura 3b).

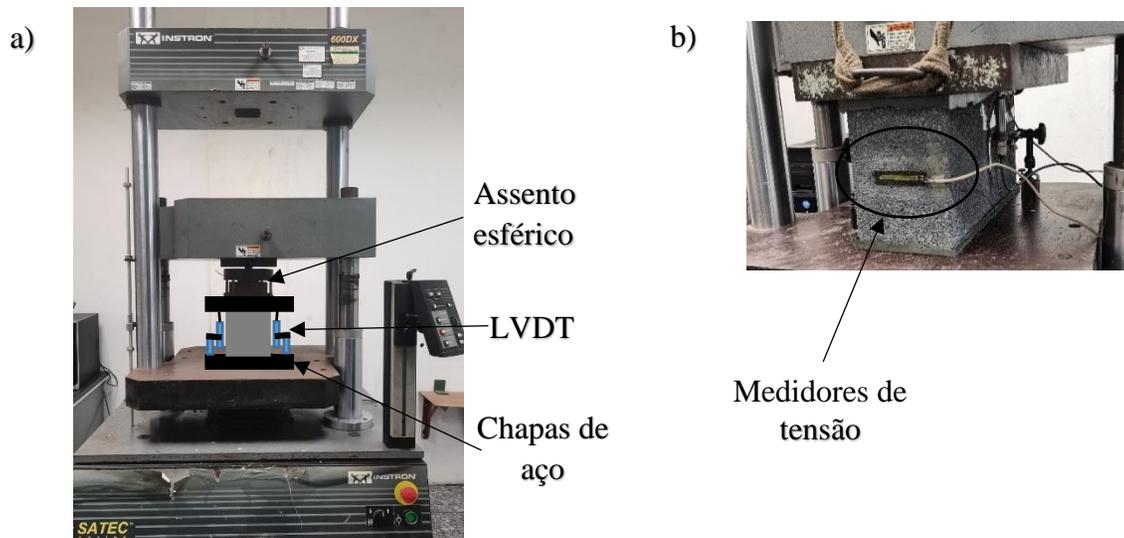
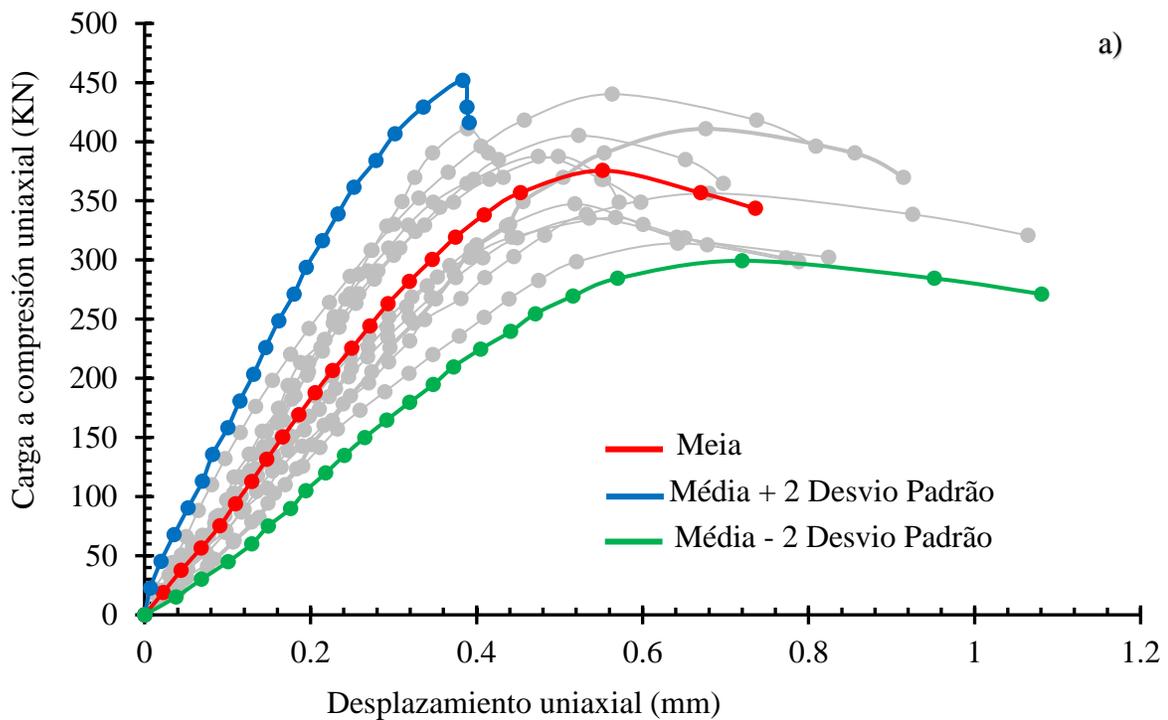


Figura 3. a) Instrumentação do ensaio de compressão uniaxial dos BHCs; b) localização dos extensômetros nos BHCs. Fonte: elaboração própria.

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1. Concreto oco ou blocos de concreto

No Figura 4 Os resultados experimentais médios das curvas de carga versus deslocamento para ambas as formas de colocação de passo são mostrados.



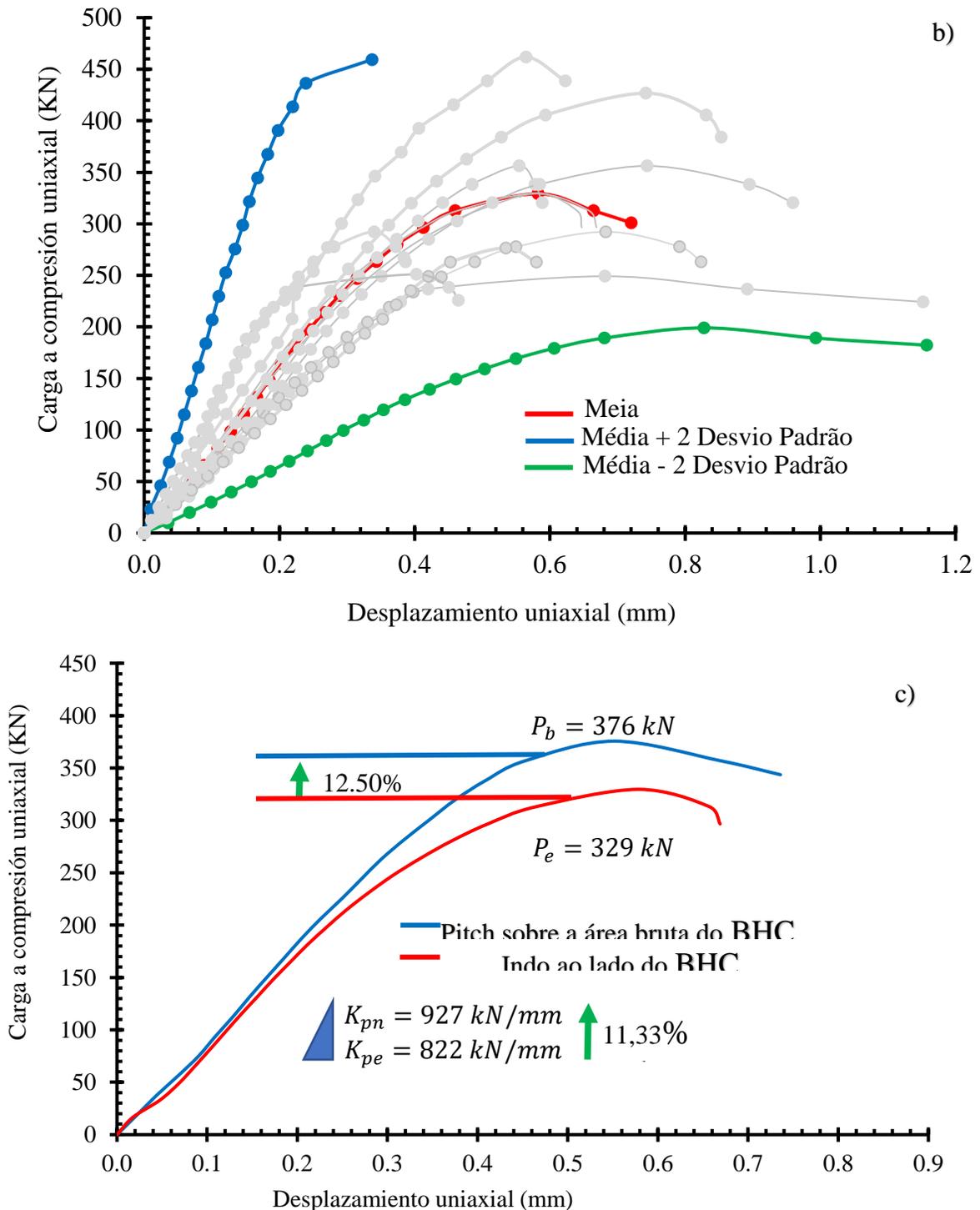


Figura 4. Curvas de deslocamento de carga vs BHC para ambas as formas de colocação do passo: a) posicionamento do passo na área bruta, b) posicionamento do passo na área lateral e c) médias experimentais e diferenças relativas. Fonte: Autores.

As principais variáveis que caracterizam a curva carga vs deslocamento são apresentadas na  $(P, K, \delta_c \text{ y } \delta_u)$  Figura 4 e no Tábua 3. Para o cálculo das diferenças relativas entre as variáveis, foram utilizados como padrão de referência os valores obtidos na variante de colocação do pitch na área bruta, uma vez que esse é o procedimento estabelecido pela regulamentação mexicana (NMX-ONNCCE-C-036, 2013).

Como mostrado no Tábua 3, quando a carga é aplicada no BHC com o passo na área bruta, aumenta a capacidade de carga e a rigidez em 12,5% e 11,33%, respectivamente, em comparação com a variante de colocação na área lateral. (*K*)

Tábua 3. Resultados experimentais médios dos BHCs. Fonte: elaboração própria.

Variáveis da curva de carga vs deslocamento	Aplicação da carga no passo na área bruta	Aplicando a carga no campo na área lateral	$Dr_b$ (%)
Carga máxima $P(kN)(COV)$	376 (0.1)	329 (0.12)	+12.50
Rigidez do BHC $K(kN/mm)(COV)$	927 (0.19)	822 (0.10)	+11.33
Deslocamento na carga máxima $\delta_c(mm)(COV)$	0.55 (0.15)	0.64 (0.10)	-16.36
Deslocamento máximo $\delta_u(mm)(COV)$	0.79 (0.23)	0.80 (0.20)	-1.27
$\mu = \delta_u/\delta_c$	1.44	1.25	+13.19

*K*: Inclinação da reta secante a 40% da carga máxima;  
 $Dr_b$ (%): Diferenças relativas usando a altura sobre a área bruta como padrão  
 $COV$ : Coeficiente de variação (padrão ou desvio-padrão/média aritmética)  
 $\mu$ : Índice de ductilidade

Os resultados experimentais apresentados (Tábua 3 e Figura 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) indicam que a colocação do pitch na área lateral da BHC implica em diminuição das principais variáveis que caracterizam a curva carga versus deslocamento experimental.

Tábua 4. Uso de diferentes medidas de últimos esforços médios (resistência). Fonte: elaboração própria.

Carga \ Esforços		1	2	3	4	5
		$f_{pb}(MPa)$ ( $COV$ )	$f_{pn}(MPa)$ ( $COV$ )	$f_{pe}(MPa)$ ( $COV$ )	$f_{pn}(MPa)$	$f_{pe}(MPa)$
$P_b(kN)(COV)$	376 (0.1)	6.48	<b>11.27</b>	16.94	<b>11.27</b>	-
$P_e(kN)(COV)$	329 (0.12)	5.67	9.86	<b>14.82</b>	-	<b>14.82</b>
		$f_{pb} = \frac{P_b \cdot \sigma \cdot P_e}{A_b}$	$f_{pn} = \frac{P_b \cdot \sigma \cdot P_e}{A_n}$	$f_{pe} = \frac{P_b \cdot \sigma \cdot P_e}{A_e}$	$f_{pn} = \frac{P_b}{A_n}$	$f_{pe} = \frac{P_e}{A_e}$
$Dr_b$ (%): +12.50					$Dr_n$ (%): -31.50	

$P_b$ ;  $P_e$ : Carga aplicada no campo na área bruta e lateral, respectivamente  
 $COV$ : Variação do coeficiente (padrão ou desvio padrão/média aritmética)  
 $Dr_b$ (%): Diferenças relativas usando como padrão  $P_b$   
 $Dr_n$ (%): Diferenças relativas usando como padrão  $f_{pn}$

Esse resultado é semelhante ao obtido por Zahra et al. (2021) onde verificaram que os BHCs com a argamassa colocada nas faces laterais apresentaram uma diminuição na capacidade de carga de 19,87%. As diferenças obtidas neste estudo foram maiores do que as do presente estudo, pois a geometria do BHC e do material de pitching foram diferentes em ambos os estudos.

Por outro lado, devido às diferenças entre as áreas da UBS ( $A_b$ ,  $A_n$  y  $A_e$ ) Tábua 2), a estimativa dos esforços médios varia acentuadamente (ver Tábua 4), gerando um alto grau de incerteza na confiabilidade do conceito de esforço médio. Essa tensão média é usada como medida de

resistência e módulo de Young em unidades de alvenaria, prismas e paredes BHC.

Nas colunas 1 a 3 do Tábua 4, observa-se que as resistências do BHC ( $f_{pb}$ ), obtidas com o mesmo denominador comum ( $f_{pn}$  y  $f_{pe}A_b, A_n$  y  $A_e$ ) diminuir quando o pitch é aplicado na área lateral do BHC. Além disso, obtemos um valor de diferenças relativas de  $Dr_b = 12.50\%$ , que corresponde ao valor apresentado na primeira linha de Tábua 3, com base na carga máxima aplicada.

Nesse sentido, as resistências obtidas são consistentes com os resultados experimentais apresentados no Tábua 3, onde o piche aplicado sobre a área bruta apresentou um aumento de 12,50% na carga de pico alcançada pelo BHC em comparação com o pitch aplicado na área lateral. O problema surge ao relatar os valores de resistência obtidos com um denominador variável, como pode ser visto nas colunas 4 e 5 do (Tábua 4). Nesse caso, a resistência é maior que  $f_{pn}$ , o que pode levar a uma interpretação equivocada de que, ao arremessar na área lateral, o BHC resiste mais do que quando aplicado na área da rede, apresentando uma diferença relativa de  $Dr_n = 31.50\%$ .

Recentemente, outros autores (Zahra, 2021) apresentaram esse problema tanto para blocos sólidos quanto para ocos. Em seus resultados experimentais (Zahra, 2021), a resistência ao BHC foi medida como a razão entre a carga e a área lateral. No entanto, ao aplicar o modelo de dano plástico ao concreto, eles usaram as tensões calculadas na área líquida, devido ao aumento fictício da resistência do BHC gerado pela métrica baseada na área lateral.  $(P_e)(A_e)(f_{pn}) \left( f_{pe} = \frac{P_e}{A_e} \right)$

Regulamentos mexicanos (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Masonry, 2023) estabelecem que a resistência do BHC é definida como o quociente entre a carga e a área bruta. Por outro lado, outros regulamentos ((TMS 602 / ACI 530.1 / ASCE 6, 2013; ASTM-C-140-17A, 2017) propõem que a resistência seja calculada como o quociente entre a carga e a área líquida, argumentando que, por se tratar de uma parte oca, a área líquida é a região efetiva no trabalho mecânico.  $(P_b)(A_n)$

No Figura 5 As curvas de tensão versus deformação são mostradas de acordo com os critérios de medição das normas mexicanas (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Maçonaria, 2023) e com intervalo de confiança de duas vezes o padrão ou desvio padrão. Além disso, no Tábua 5 São apresentados os principais parâmetros mecânicos médios de deformação, que foram extraídos das curvas de tensão vs deformação.

Todos os módulos de elasticidade foram calculados de acordo com uma reta tangente a 40% da tensão máxima, seguindo as disposições da regulamentação mexicana (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Maçonaria, 2023). Da mesma forma, na estimativa da resistência do BHC, no Tábua 5 mostra-se que o uso da área lateral na medida de esforço médio provoca um aumento de mais de 50% na estimativa do módulo de Young da CBH. No entanto, as deformações não apresentaram diferenças significativas para ambas as formas de colocação do pitch.  $(\epsilon_{cb}, \epsilon_{ul})$

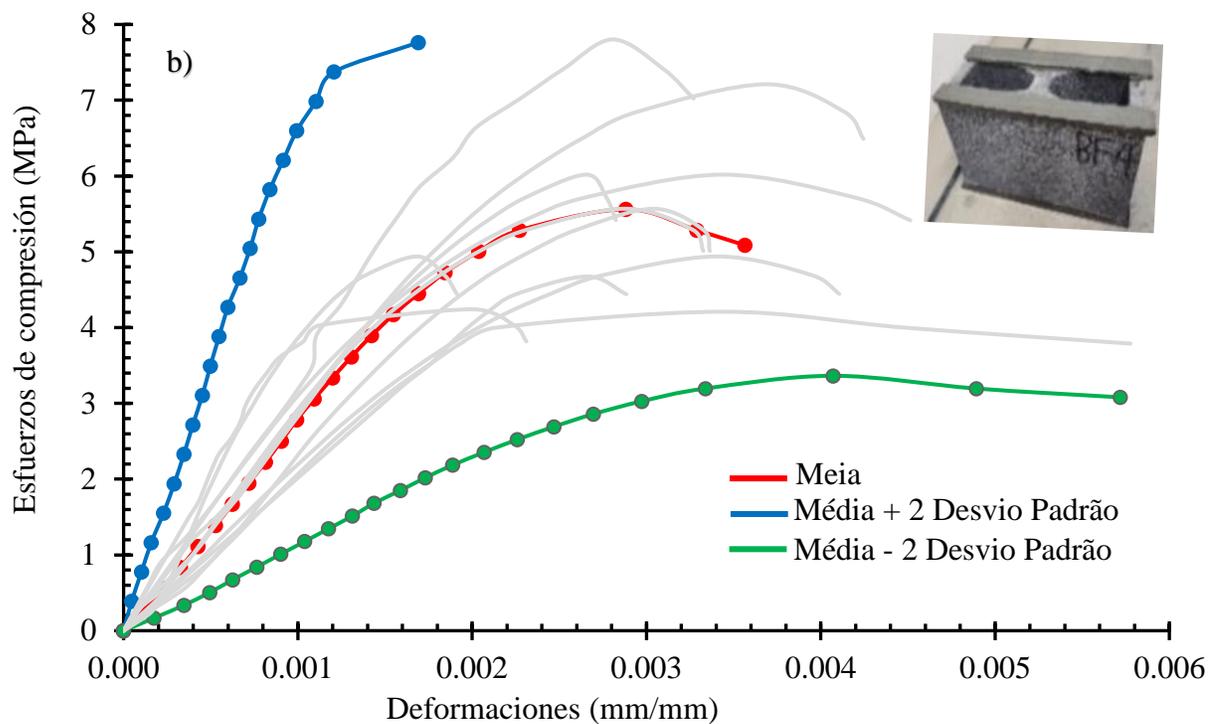
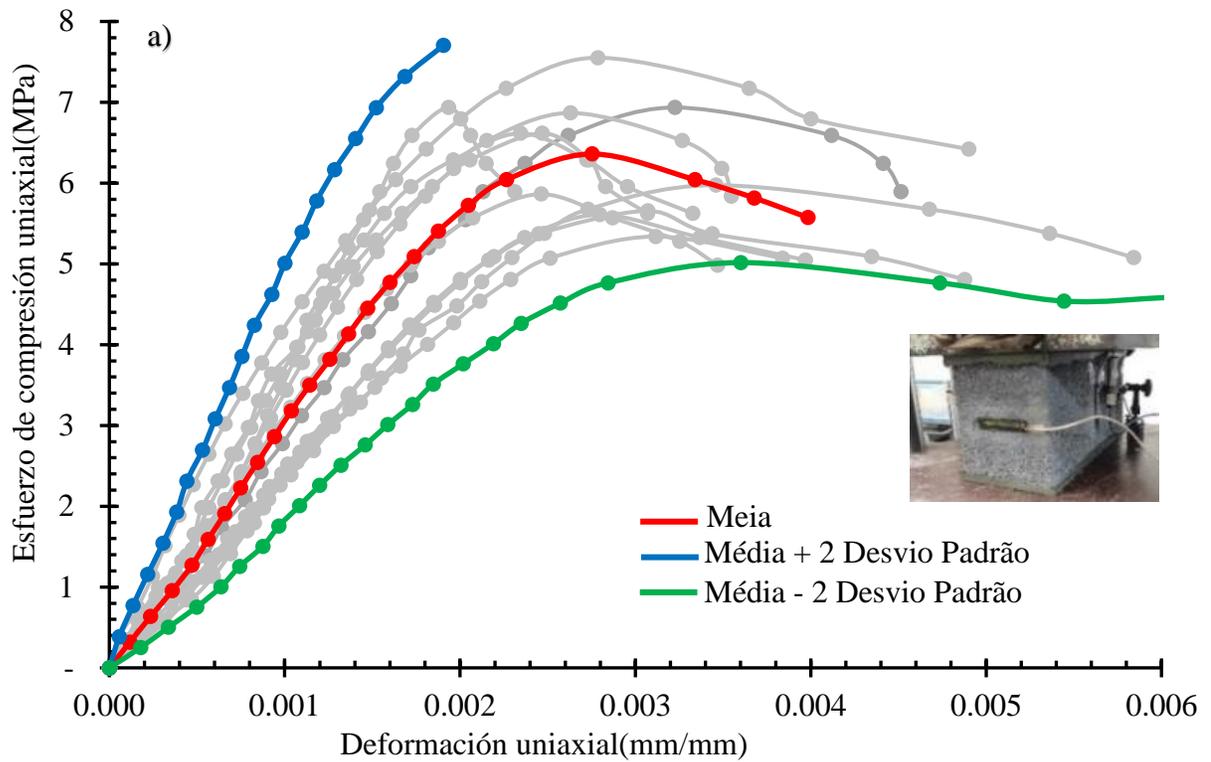


Figura 5. Curvas de tensão versus deformação do BHC a) de acordo com as regulamentações mexicanas (NMX-ONNCCE-C-036, 2013; NTC-Maçonaria, 2023) sobre a área bruta da BHC, b) na área lateral do BHC. Fonte: elaboração própria.

Tábua 5. Principais parâmetros mecânicos deformacionais médios extraídos das curvas de tensão vs deformação dos BHCs em compressão uniaxial. Fonte: elaboração própria.

	Rumo na área bruta			Cabeçalho na área lateral			Fim da variável Módulo de Young	
	$E_{pb}(MPa)$ (COV)	$\varepsilon_{cb}\left(\frac{mm}{mm}\right)$ (COV)	$\varepsilon_{ul}\left(\frac{mm}{mm}\right)$ (COV)	$E_{pe}(MPa)$ (COV)	$\varepsilon_{cb}\left(\frac{mm}{mm}\right)$ (COV)	$\varepsilon_{ul}\left(\frac{mm}{mm}\right)$ (COV)	$E_{pe}(MPa)$ (COV)	$E_{pb}(MPa)$ (COV)
Sobre a área bruta	3099 (0.22)	0.0027 (0.15)	0.0039 (0.23)	-	-	-	-	3099 (0.22)
Sobre a área lateral	2680 (0.24)	0.0029 (0.16)	0.0036 (0.28)	6844 (0.16)	0.0031 (0.10)	0.0039 (0.24)	6844 (0.16)	-
$Dr_b$ (%)	13.52	-7.41	7.69	$Dr_{E_{pe}}$ (%) = 54.72				
$Dr_b$ (%): Diferenças relativas usando a área bruta como padrão								
$Dr_{E_{pe}}$ (%): Diferenças relativas entre o módulo de Young extremo, tomando a área lateral como referência								

Em relação aos modos de ruptura dos BHCs, os resultados experimentais mostraram que na variante de colocação do pitch na área bruta, o processo de fissuração começou a se desenvolver nos cantos dos BHCs. Figura 6a. Posteriormente, as rachaduras começaram a se desenvolver diagonalmente em direção ao centro das faces do BHC (Figura 6b e Figura 6c) Provocar o desprendimento de segmentos do material, Figura 6d. Nenhum dos corpos de prova apresentou falha explosiva, mas foram acompanhados pelo prolongamento das fissuras diagonais iniciadas nas extremidades do bloco. Esse modo de falha é típico dos BHCs comerciais e está associado a uma combinação de fatores como: o efeito de confinamento imposto pelas chapas de aço nas extremidades do BHC (Figura 3), a baixa razão de esbeltez do BHC, a baixa resistência à tração do material e a distribuição das tensões principais (Barbosa y Hanai, 2005; García, et al., 2013).



Figura 6. Etapas do processo de craqueamento no BHC com o uso de pitching na área bruta: a) A fissuração começa nos cantos do bloco, b e c) desenvolvimento de rachaduras em direção ao centro das faces do bloco, d) desprendimento de segmentos do material. Fonte: elaboração própria.

Na variante de colocação do passo nas faces laterais, a geometria localizada do passo causou altas concentrações de tensão nas faces laterais do BHC (Figura 7a) causando o início do processo de fissuração. Posteriormente, começaram a se desenvolver trincas com maior predominância nas paredes mais alongadas dos CBH (comprimento de 395 mm) devido à concentração das tensões nas faces laterais. O fracasso dos BHCs abrangeu duas zonas interconectadas diferentes. A primeira zona estava localizada nas paredes mais alongadas e foi causada pelos efeitos da perda de estabilidade local, devido aos efeitos da concentração de tensões (Figura 7b). A segunda zona foi

desenvolvida posteriormente, com outro processo de fissuração originado nas paredes curtas (espessura de 147 mm) devido à baixa resistência à tração do BHC (Figura 7c).

Pesquisas de outros autores mostram que com o aumento da altura dos corpos de prova (estacas de várias linhas), o processo de fissuração na segunda zona torna-se mais relevante (Figura 7c) (Zahra, 2021; Nalon, et al., 2022; Henrique Nalon, et. al., 2020).

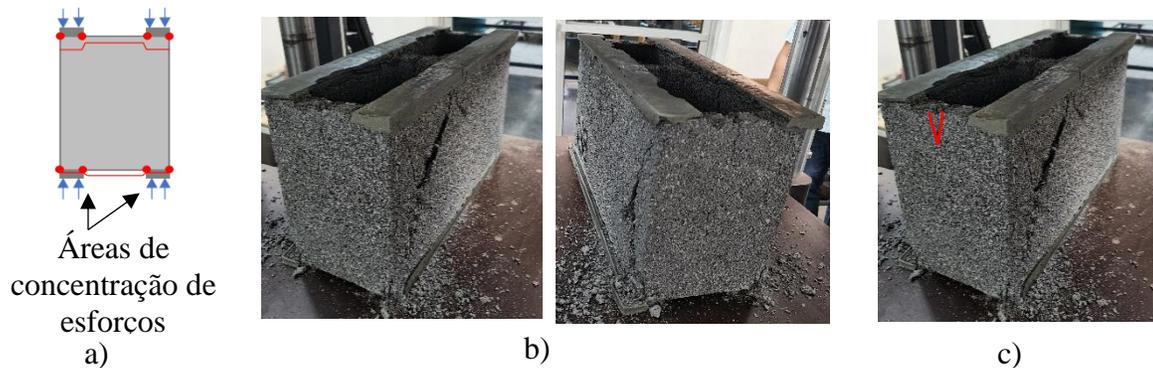


Figura 7. Etapas do processo de fissuração nas BHCs com o uso de pitching na área lateral: a) Diagrama de concentração de tensões, b) zona 1, desenvolvimento de trincas na face longa do bloco, c) zona 2, desenvolvimento de trincas na face curta do bloco. Fonte: Autores.

No Figura 8 um resumo gráfico comparativo das curvas experimentais médias é apresentado de acordo com as três formas mais utilizadas na literatura para a estimativa do esforço médio em BHCs (S304.1-04, 2004; ASTM-C-140-17A, 2017), tais como: tensões médias na área bruta, tensões médias na área líquida e tensões médias na área lateral. Nele você pode ver como a estimativa da resistência e do módulo de Young do BHC pode variar em mais de

$$50\% \cdot \left( f_{pb} = \frac{P_b}{A_b} \right) \left( f_{pn} = \frac{P_b}{A_n} \right) \left( f_{pe} = \frac{P_e}{A_e} \right)$$

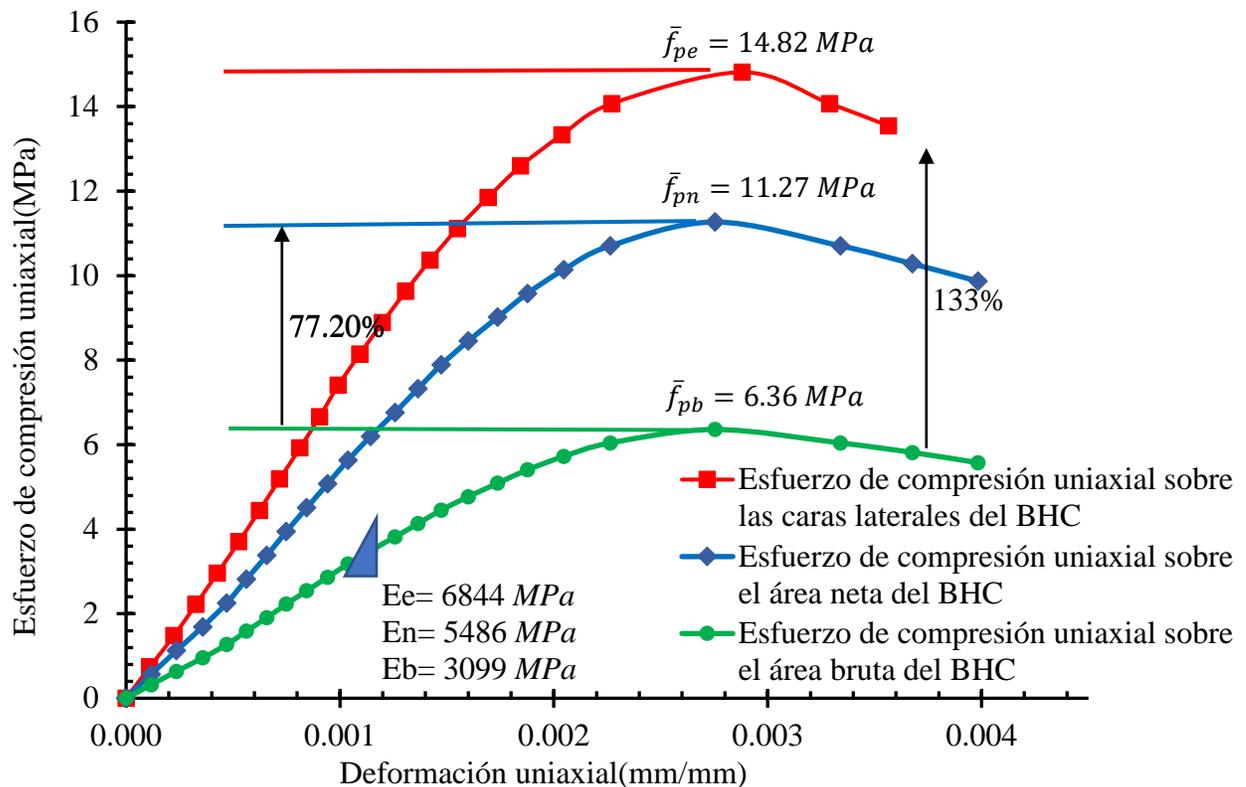


Figura 8. Curvas experimentais médias dos gráficos de tensão versus deformação obtidos para ambas as formas de colocação do passo. Fonte: Autores.

#### 4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nesta seção, foi realizada uma análise estatística das diferenças significativas entre os principais parâmetros mecânicos médios extraídos das curvas tensão vs deformação (Figura 9).

Primeiramente, foram realizados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk com o objetivo de comprovar que as amostras estão em conformidade com uma distribuição normal. Na Tabela 6 Mostra-se que o valor de significância (sig.) das amostras analisadas (12 variáveis aleatórias) foi maior do que o nível de significância assumido, indicando que as variáveis aleatórias se enquadram em uma distribuição normal ( $\alpha = 0.05$ ) Montgomery y Runger, 2003; SPSS, 2017).

Posteriormente, foram realizados os testes de homogeneidade de variâncias (Levene) para determinar qual teste de hipótese (paramétrico ou não paramétrico) é melhor para a determinação de diferenças estatisticamente significativas. Nesse sentido, a Tabela 7 mostra que todos os testes de hipóteses realizados foram paramétricos (t-de-Student), o que aumenta o poder de mensuração de diferenças estatisticamente significativas.

A análise estatística indicou que as deformações correspondentes à tensão máxima, bem como as deformações últimas para ambas as variantes de posicionamento do passo, não representam diferenças estatisticamente significativas (Tabela 7, Figura 9). Além disso, parâmetros mecânicos como resistências à compressão uniaxial e módulos de Young foram os parâmetros que apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Tabela 7).  $(f_{pb}, f_{pn}, f_{pe}) (E_{pb}, E_{pn}, E_{pe})$

Tabla 6. Testes de normalidade. Fonte: elaboração própria.

Variáveis aleatórias	N	Média	COV (%)	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
				Estatístico	Gl.	Sig.	Estatístico	Gl.	Sig.
$f_{pn}$	10	11.50	0.10	0.202	6	0,200*	0.933	6	.604
$f_{pe}$	10	14.90	0.12	0.268	6	0,200*	0.878	6	.261
$f_{pb}$	10	6.50	0.10	0.250	6	0,200*	0.895	6	.347
$E_{pn}$	10	5486	0.21	0.229	6	0,200*	0.873	6	.238
$E_{pe}$	10	6844	0.16	0.196	6	0,200*	0.957	6	.800
$E_{pb}$	10	3099	0.22	0.212	6	0,200*	0.883	6	.282
$\varepsilon_{cn}$	10	0.0027	0.15	0.180	6	0,200*	0.959	6	.814
$\varepsilon_{ce}$	10	0.0031	0.10	0.307	6	0.080	0.827	6	.102
$\varepsilon_{cb}$	10	0.0027	0.10	0.180	6	0,200*	0.959	6	.814
$\varepsilon_{un}$	10	0.0039	0.23	0.226	6	0,200*	0.938	6	.644
$\varepsilon_{ue}$	10	0.0039	0.24	0.206	6	0,200*	0.936	6	.627
$\varepsilon_{ub}$	10	0.0031	0.28	0.226	6	0,200*	0.938	6	.644

Para. Correção do significado de Lilliefors  
 \*. Este é um limite inferior de verdadeiro significado.

Tabla 7 Resultados de testes de hipóteses paramétricas (t-Student). Fonte: elaboração própria.

Variáveis aleatórias	Teste de Levene Valor de p	Comparação De meias Sig. (bilateral)	Diferenças estatisticamente
Parâmetros mecânicos na área bruta vs. área líquida			
$f_{pb}$ y $f_{pn}$	0.051	Teste t de Student ( $P = 0.000$ )	significativo
$E_{pb}$ y $E_{pn}$	0.078	Teste t de Student ( $P = 0.000$ )	significativo
$\varepsilon_{cb}$ y $\varepsilon_{cn}$	1.000	Teste t de Student ( $P = 1.000$ )	Não significativo
$\varepsilon_{ub}$ y $\varepsilon_{un}$	1.000	Teste t de Student ( $P = 1.000$ )	Não significativo
Parâmetros mecânicos na área bruta vs área lateral			
$f_{pb}$ y $f_{pe}$	0.087	Teste t de Student ( $P = 0.000$ )	significativo
$E_{pb}$ y $E_{pe}$	0.370	Teste t de Student ( $P = 0.005$ )	significativo
$\varepsilon_{cb}$ y $\varepsilon_{ce}$	0.248	Teste t de Student ( $P = 0.284$ )	Não significativo
$\varepsilon_{ub}$ y $\varepsilon_{ue}$	0.736	Teste t de Student ( $P = 0.629$ )	Não significativo

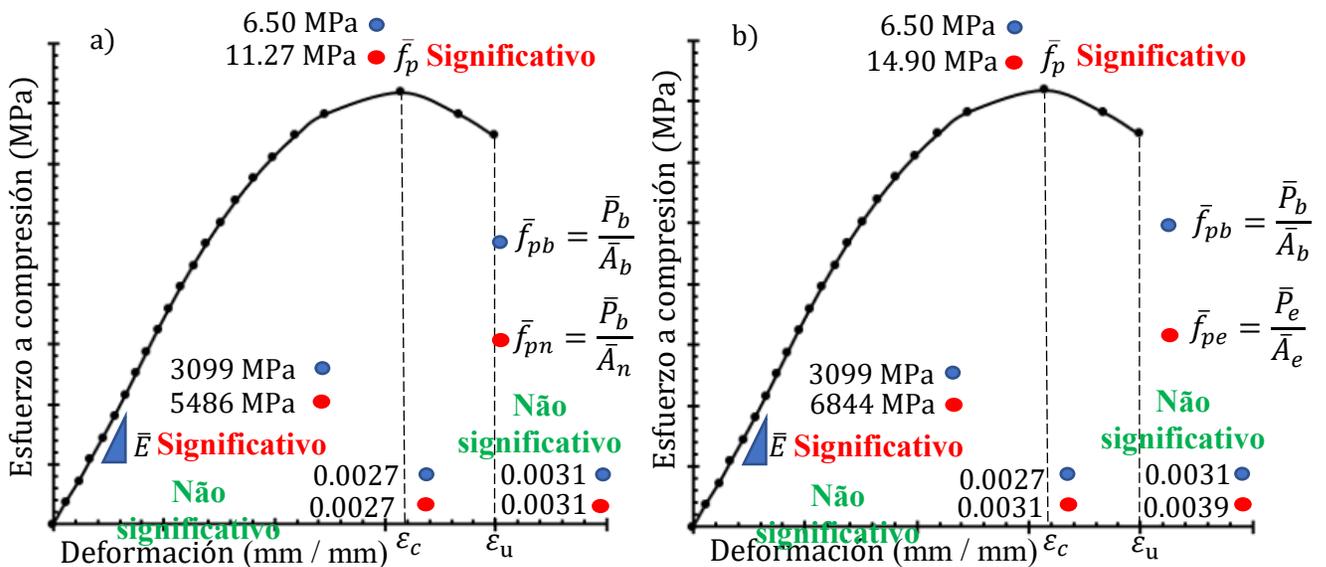


Figura 9. Diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros mecânicos da curva BHC tensão vs deformação: a) para área bruta vs área líquida e b) para área bruta vs área lateral. Fonte: elaboração própria

## CONCLUSÕES

Apresentam-se a seguir as conclusões do estudo, que respondem ao objetivo geral e validam a hipótese levantada:

- A forma como o pitch foi colocado teve uma influência significativa no comportamento de compressão uniaxial dos BHCs. A colocação do passo na área lateral do CBS causou uma diminuição estatisticamente significativa na capacidade de carga e rigidez do CBD.
- Devido às diferenças entre as áreas derivadas da geometria do BHC, o cálculo das tensões uniaxiais médias varia significativamente, gerando uma alta incerteza na confiabilidade do conceito de tensão média como medida da resistência e módulo de elasticidade das unidades de alvenaria. As resistências do BHC ( $f_p$ ), calculadas com o mesmo denominador comum ( $A_n$ ) diminuem quando o pitching é aplicado na área lateral do BHC, mostrando coerência com os resultados experimentais apresentados em termos de carga vs deslocamentos. No entanto, a comparação das resistências calculadas usando um denominador variável leva a uma interpretação errônea da resistência do BHC. ( $A_b, A_n$  y  $A_e$ )  $f_{pb}, f_{pn}$  y  $f_{pe} A_b, A_n$  y  $A_e$  ( $A_n > A_e$ )
- Os processos de fissuração para ambas as formas de colocação do pitch originaram diferentes mecanismos de falha, obtendo-se maior ductilidade no BHC com a colocação do pitch na área bruta.

## 5. EXPRESSÕES DE GRATIDÃO

O primeiro autor agradece ao CONAHCYT pela bolsa de estudos ao doutorando, ao Departamento de Engenharia Estrutural e Laudos Periciais e à Subdiretoria de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da UANL.

Os autores também agradecem ao programa PAICYT oferecido pela UANL.

## 6. REFERÊNCIAS

- Álvarez-Pérez, J., Chávez-Gómez, J. H., Terán-Torres, B. T., Mesa-Lavista, M., Balandrano-Vázquez, R. (2020), *Multifactorial behavior of the elastic modulus and compressive strength in masonry prisms of hollow concrete blocks*. Construction and Building Materials, 241: p. 18. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118002>
- Al-Amoudi, M. A. A., Alwathaf, A. H. (2014), *The Behavior of Hollow Concrete Block Masonry under Axial Compression*. Journal of Engineering Sciences, 3(2): p. 32-53. ISSN 2312-9999.
- American Society for Testing and Materials International (2017), *ASTM-C-140-17A, Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units*. p. 26.
- American Society for Testing and Materials International (2016), *ASTM-C-1552, Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing*.
- Australian Standard (2018), *AS 3700:2018, Masonry Structures*, Standards Australian Limited 2018.
- Barbosa, C. S., Hanai, J. B. (2005), *Strength and deformability of hollow concrete blocks and their correlations with mechanical properties of constituent material*, in 10th Canadian Masonry Symposium. Banff, Alberta, June p. 8-12.
- Barbosa, C. S., Hanai, J. B. (2006), *Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte*. Cadernos de Engenharia de Estruturas. 8(34): p. 45-74.
- Barbosa, C. S., Lourenço, P. B., Hanai, J. B. (2010), *On the compressive strength prediction for concrete masonry prisms*. Materials and Structures, 43(3): p. 331-344. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-009-9492-0>
- Caldeira, F. E., et al. (2020), *Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks*. Construction and Building Materials, 234: p. 117419. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117419>
- Canadian Standards Association (CSA) (2004), *S304.1-04 - Design of Masonry Structures*, p. 139, Published in December, Canada, ISBN 1-55397-402-6. <https://es.slideshare.net/slideshow/csa-masonry-s304104/238765983>
- Eurocode (2005), *EN 1996-1 and 2: 2005, Eurocode 6-Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for buildings—reinforced and unreinforced masonry, Design of masonry structures. Design Considerations, Selection of Materials and Execution of Masonry*. European Committee for Standardisation CEN, Brussels, 2006.
- Fortes, E. S., Parsekian, G. A., Camacho, J. S. (2017), *Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks*. Ibracon structures and materials journal, 10(6): p. 1273-1319. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952017000600008>
- García, J. M., Bonett, R. L., Ledezma, C. (2013), *Analytical Model for Compression Behavior of Hollow Concrete Blocks (In Spanish)*. Revista de la construcción, 12(3): p. 76-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300009>
- Henrique Nalon, G., Rezende Santos, C. F., Pedroti, L. G., Lopes Ribeiro, J. C., Veríssimo, G. S., Ferreira, F. A. (2020), *Strength and failure mechanisms of masonry prisms under compression, flexure and shear: Components' mechanical properties as design constraints*. Journal of Building Engineering, 28: p. 101038. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.101038>
- Lima, T. E. S., Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., Zanelato, E. B., Paes, A. L. C., Alexandre, J., Monteiro, S. N. (2021), *Study of Face Shell Bedding Concrete Blocks Prisms with Different Laying Mortar Strength*. in Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2021. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-65493-1\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65493-1_52)

- Mahamid, M., Westin, N. (2020), *Reevaluation of  $f'_m$  for the Unit-Strength Method with Application to Lightweight Concrete Block Masonry and Face Shell-Bedded Mortar Joints*. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 25(3): p. 10. [https://10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000494](https://10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000494)
- Martins, R. O. G., Nalon, G. H., Sant'Ana Alvarenga, R. C. S., Pedroti, L. G., Lopes Ribeiro, J. C. (2018), *Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms*. Construction and Building Materials, 182: p. 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.091>
- Masonry Standards Joint Committee (MSJC) (2013), *Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures and Companion Commentaries (TMS 602/ACI 530.1/ASCE 6)*. Produced in the United States of America.
- NTC-Mampostería (2023), *Norma técnica complementaria para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. p. 119.
- Mohamad, G., Fonseca, F. S., Vermeltfoort, T., Martens, D. R. W., Lourenço, P. B. (2017), *Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths*. Construction and Building Materials, 134: p. 489-496. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.112>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. (2003), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, Third Edition: Printed in the United States of America.
- Mohamad, G., Lourenço, P. B., Roman, H. R. (2007), *Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: Review and prospects*. Cement and Concrete Composites, 29(3): p. 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.11.003>
- Nalon, G. H., Lopes Ribeiro, J. C., Pedroti, L. G., da Silva, R. M., Duarte de Araújo, E. N., Santos, R. F., Soares de Lima, G. E. (2022), *Review of recent progress on the compressive behavior of masonry prisms*. Construction and Building Materials, 320: p. 126181. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126181>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación – ONNCCE (2010), *NMX-ONNCCE-C-464, Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto. Métodos de ensayo*. p. 24.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación – ONNCCE (2013), *NMX-ONNCCE-C-036, Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines– método de ensayo*. p. 10.
- Sarhat, S. R., Sherwood, E. G. (2014), *The prediction of compressive strength of ungrouted hollow concrete block masonry*. Construction and Building Materials, 58: p. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.025>
- SPSS (2017), *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0.*, N.Y. Armonk, Editor.
- Thamboo, J. A., Dhanasekar, M., Yan, C. (2013), *Effects of Joint Thickness, Adhesion and Web Shells to the Face Shell Bedded Concrete Masonry Loaded in Compression*. Australian Journal of Structural Engineering, 14(3): p. 291-302. <https://10.7158/13287982.2013.11465139>.
- Zahra, T., Thamboo, J., Asad, M. (2021), *Compressive strength and deformation characteristics of concrete block masonry made with different mortars, blocks and mortar beddings types*. Journal of Building Engineering, 38: p. 102213. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102213>
- Zahra, T., Dhanasekar, M. (2018), *Characterisation and strategies for mitigation of the contact surface unevenness in dry-stack masonry*. Construction and Building Materials, 169: p. 612-628. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.002>