



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**INFLUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL A
FLEXOCOMPRESSÃO NOS ESTÁDIO III**

JOSÉ DEYVISON PORFÍRIO RAMALHO

Pombal–PB
Setembro, 2023.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL A
FLEXOCOMPRESSÃO NOS ESTÁDIO III**

JOSÉ DEYVISON PORFÍRIO RAMALHO

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Luiz Ricardo da Silva Linhares

Pombal–PB
Setembro, 2023.

R166i Ramalho, José Deyvison Porfírio.

Influência do dimensionamento da alvenaria estrutural a flexocompressão dos estádio III / José Deyvison Porfírio Ramalho. – Pombal, 2023.

23 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Me. Luiz Ricardo da Silva Linhares”.

Referências.

1. Alvenaria estrutural. 2. Flexo compressão. 3. Análise comparativa. 4. Construção civil - Estruturas. I. Silva, Linhares, Luiz Ricardo da Silva. II. Título.

CDU 693 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO

JOSÉ DEYVISON PORFÍRIO RAMALHO

**INFLUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL A
FLEXOCOMPRESSÃO NO ESTÁDIO III**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente José Deyvison Porfírio Ramalho
APROVADO em dia de mês de 2023 pela comissão examinadora composta pelos
membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO
CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.

Documento assinado digitalmente
 LUIZ RICARDO DA SILVA LINHARES
Data: 07/12/2023 18:21:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Luiz Ricardo da Silva Linhares

(Orientador – UFCG)

Documento assinado digitalmente

 ARTHUR COUTINHO DE ARAUJO PEREIRA
Data: 04/12/2023 08:19:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Arthur Coutinho de Araújo Pereira

(Membro Interno – UFCG)

Documento assinado digitalmente

 ERVETON VICTOR SILVA DE SOUZA
Data: 04/12/2023 08:02:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Erveton Victor Silva de Souza

(Membro externo – ENGENHEIRO CIVIL)

INFLUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL A FLEXOCOMPRESSÃO NO ESTÁDIO III

INFLUENCE OF STRUCTURAL MASONRY SIZING ON FLEXOCOMPRESSION IN STAGE III

José Deyvison Porfírio Ramalho, deysrp@gmail.com

Luiz Ricardo da Silva Linhares, luiz.ricardo@ufcg.edu.br

RESUMO

Alvenaria estrutural é um sistema de construção eficiente que tem sido cada vez mais utilizado na indústria da construção civil. Entretanto, nesse sistema construtivo é crucial reconhecer a relevância dos esforços horizontais, uma vez que esses esforços têm um impacto significativo na resposta estrutural, já que levam a um dimensionamento a flexocompressão. O trabalho tem como objetivo, uma análise comparativa da eficiência e viabilidade da alvenaria estrutural a flexo compressão no estágio III, utilizando a metodologia utilizada pela norma antiga comparando com os resultados obtidos no trabalho de Viera (2022), o qual utilizou do procedimento da ABNT NBR 16868-1:2020. Como resultado da análise, foi possível perceber que o método da norma antiga no Estádio III detém de uma margem de segurança bem maior que os outros casos, principalmente no Estádio III da nova norma, a qual se tem um aproveitamento maior da resistência de escoamento do aço, gerando uma maior economia para a construção.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, estruturas, flexo compressão.

ABSTRACT

Structural masonry is an efficient construction system that has been increasingly utilized in the civil construction industry. However, in this construction system, it is crucial to recognize the relevance of horizontal forces, as these forces have a significant impact on the structural response, leading to flexural-compressive design. The objective of this study is to conduct a comparative analysis of the efficiency and feasibility of structural masonry in axial and bending design at Stage III, using the methodology employed by the old standard and comparing it with the results obtained in the work of Vieira (2022), who utilized the ABNT NBR 16868-1:2020 procedure. The analysis revealed that the old standard's method at

Stage III provides a significantly larger safety margin compared to the other cases, especially in the Stage III of the new standard, where there is a greater utilization of steel yield strength, resulting in greater cost savings in construction.

Keywords: Masonry Structural, structures, axial and bending.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem evoluído ao longo dos anos, buscando constantemente novas tecnologias e métodos construtivos que sejam mais eficientes, econômicos e sustentáveis. Nesse contexto, a alvenaria estrutural tem ganhado destaque como uma alternativa viável e promissora, tanto do ponto de vista técnico quanto do ambiental.

Esse meio construtivo é um dos mais antigos do mundo, visto que as primeiras civilizações utilizavam meios semelhantes, porém primários, utilizando blocos de pedra para a formação de abrigos.

Segundo a ABNT NBR 16868-1:2020, no dimensionamento a flexo compressão nos estádios II e III são considerados fatores específicos:

- Estádio II: Considera-se que a alvenaria se comporta como um material ortotrópico, cujas propriedades mecânicas são únicas e dependem das direções em que são observadas.
- Estádio III: considera-se que a alvenaria apresenta um comportamento isotrópico, ou seja, suas propriedades são iguais em todas as direções.

A norma mais recente permite que o dimensionamento seja feito considerando o Estádio III, que é quando há uma plastificação na região comprimida.

Portanto, variáveis como a resistência do bloco, comprimento da parede, taxa de armadura, espessura da parede, nível de carregamento e métodos de dimensionamento podem influenciar no processo, e por isso, o presente trabalho tem como intuito contribuir para a melhora do sistema, analisando os métodos dos Estádios II e III, para entender qual método terá melhor desempenho a favor da economia e segurança.

O objetivo da pesquisa é verificar a influência no dimensionamento a flexo compressão, causado pela consideração da alvenaria armada, nos estádios II e III, nesse contexto, a análise aplica-se ao método do Estádio III, recentemente incorporado à ABNT NBR 16868-1:2020, para o dimensionamento à flexo compressão, comparando-o com a norma antiga $\frac{F_{yd}}{2}$, comparando aos valores obtidos (Viera 2022).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho tem como objetivos específicos estabelecer um procedimento para o dimensionamento de elementos em alvenaria estrutural, considerando o Estádio III, realizar uma avaliação comparativa dos resultados do dimensionamento de elementos em alvenaria estrutural, levando em conta diferentes solicitações e resistência dos materiais, quando dimensionados utilizando tanto o Estádio III quanto o Estádio II, também uma análise de como a seleção da escolha do processo afeta na obtenção da área de aço necessária dos painéis em alvenaria estrutural.

A metodologia analítica será utilizada para o estudo do comportamento da alvenaria estrutural à flexo compressão nos estádios II e III, e isso envolve a utilização de modelos matemáticos e análises teóricas para compreender o desempenho estrutural do sistema construtivo.

Serão realizadas variações na resistência dos blocos e na intensidade dos carregamentos, para que seja possível a obtenção de uma análise mais detalhada e comparativa.

Procedimento:

1. Análise das propriedades das paredes;
2. Cálculo do momento limite;
3. Dimensionamento de acordo com a hipótese encontrada;
4. Comparação.

2.1 PROPRIEDADES DAS PAREDES

O dimensionamento da alvenaria estrutural nos estádios II e III da flexo compressão é influenciado por diversas características geométricas e mecânicas da alvenaria. A espessura da parede, a resistência dos blocos e argamassa, a presença de armaduras ou reforços, entre outros fatores, afetam diretamente o comportamento estrutural da alvenaria nessas fases. Além disso, a forma como as cargas são aplicadas e distribuídas na parede também influencia o seu desempenho (DANTAS, 2020).

A resistência característica à compressão (f_k) deve ser determinada com base no ensaio de paredes estabelecido pela ABNT NBR 16868-3:2020, porém a ABNT NBR 16868-

1:2020 estabelece que, para blocos de 190 mm e altura e junta de argamassa de 10 mm, este valor pode ser estimado como 70 % da resistência característica de compressão de prisma (f_{pk}) ou 85 % resistência característica de compressão de prisma da pequena parede (f_{ppk}). No caso de uso de tijolos, a resistência característica a característica pode ser estimada como 60% da resistência característica de compressão de prisma (f_{pk}). Referente a resistência característica à compressão a ABNT NBR 16868- 1:2020 aponta que se as juntas forem assentadas com argamassamento parcial e a resistência for determinada com base no ensaio de prisma ou pequena parede, moldados com a argamassa em toda a área líquida dos blocos, a resistência a compressão deve ser corrigida pelo fator de 0,80 quando comparadas com o argamassamento total (Parsekian e Medeiros 2021).

Para este trabalho os valores de f_{pk} considerados estão de acordo com as recomendações para especificação de materiais da ABNT NBR 16868:1-2020 (Figura 1), e o bloco utilizado é o bloco vazado de concreto 14 x 39 cm.

Figura 1: Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural

Tipo de bloco	f_{bk}	f_a	f_{gk}			f_{pk}	f_{pk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
				f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}			
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 x 39 cm) 	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
	24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm) 	4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
	6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
	8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
	10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
	12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 x 29 cm) 	10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
	14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
	18,0	15,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

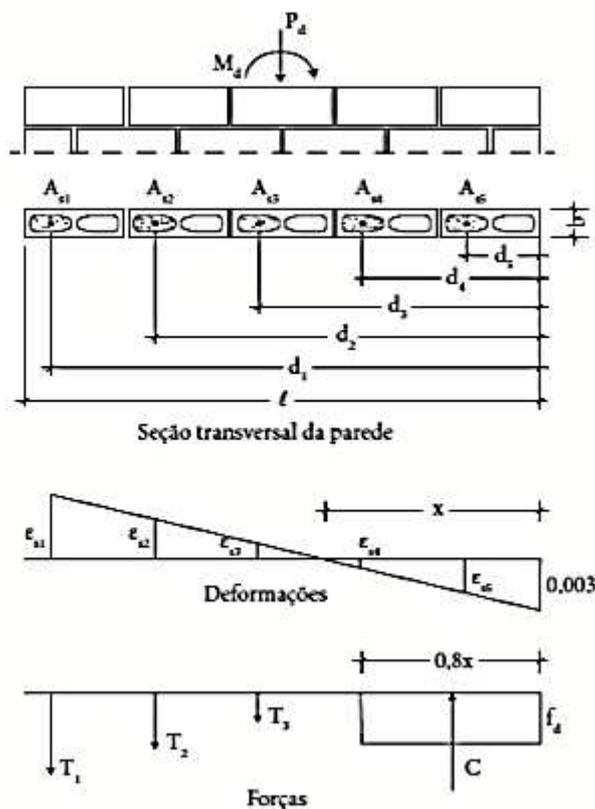
f_{pk}^* = resistência de prisma cheio.

Fonte: ABNT NBR 16868-1:2020.

Para o Estádio III com os resultados obtidos por Viera (2022), o valor de x do diagrama de deformações da parede, com valor inicial de $x = L$, considerando que toda seção estaria comprimida até o valor de x que apresenta valor de normal resistente (NRd) negativa, vide não ser uma situação usual. Destaca que para as situações de armaduras em área comprimida o valor de resistência não foi considerado para o dimensionamento da parede.

Como o diagrama de deformações é triangular (Figura 2) é possível determinar as deformações, conforme a Equação (1).

Figura 2 – Diagrama de equilíbrio para a flexo compressão no estádio III.

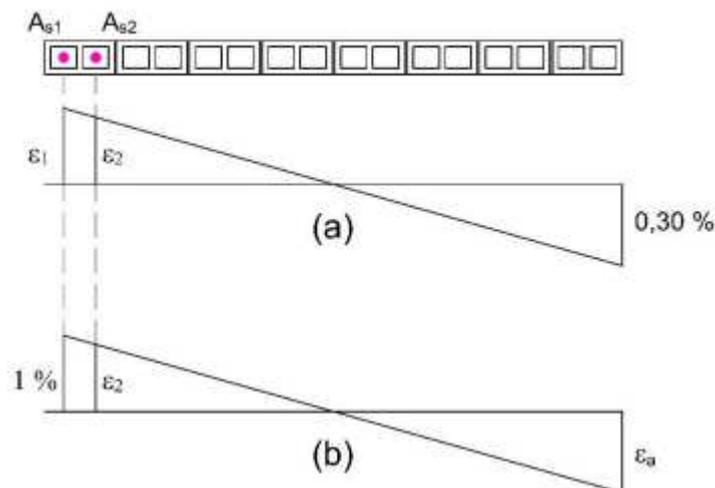


Fonte: Viera 2022

$$\epsilon_s = \epsilon_a \times \frac{d_i - x}{x} \quad (1)$$

Segundo a ABNT NBR 16868-1:2020 o máximo encurtamento da alvenaria se limita a 0,3 % e o máximo alongamento do aço é de 1 %, portanto tem-se que o $\epsilon_a = 0,30 \%$, conforme pode ser visto na Figura 5 (a), e para os casos em que o $\epsilon_s > 1 \%$, o valor é fixado em 1 % e reduzido o ϵ_a de forma proporcional, conforme pode ser visto na Figura 3, de forma que pode ser calculado conforme a Equação (2).

Figura 3 – Exemplo de diagrama de deformação (a) para o caso com $\epsilon_s < 1 \%$ e (b) para o caso com $\epsilon_s = 1 \%$



Fonte: Viera 2022

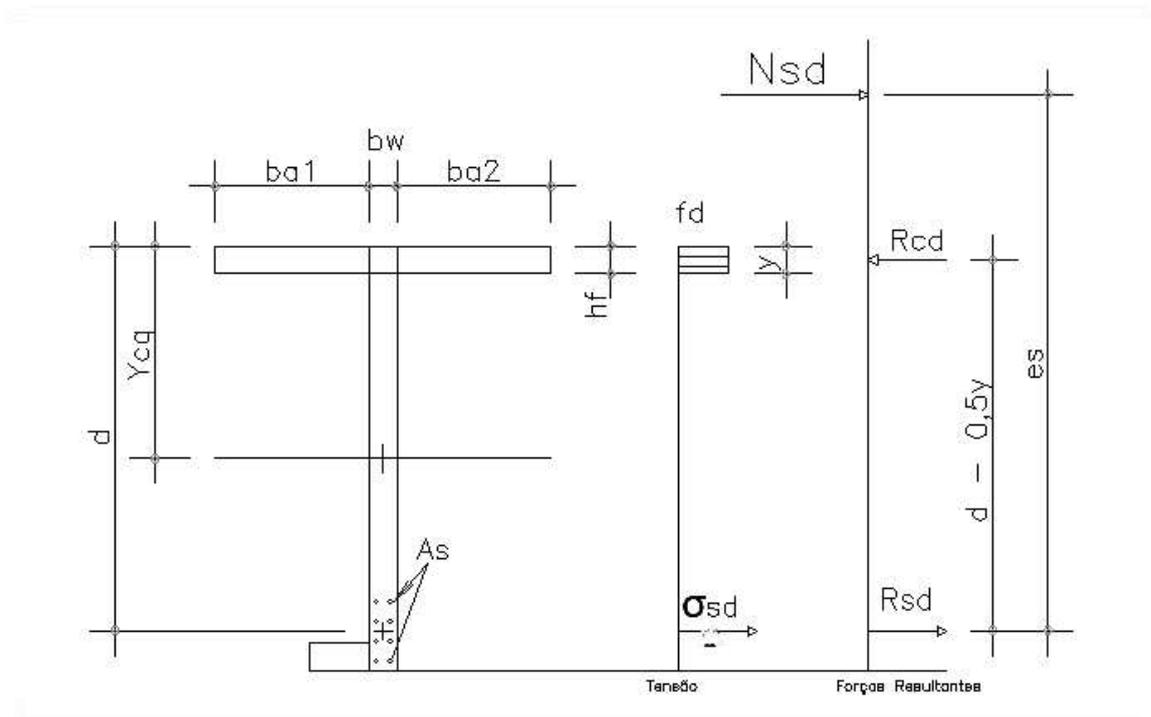
$$\varepsilon_a = \frac{x}{L-x} (2)$$

2.2 CÁLCULO DO MOMENTO LIMITE

Para o cálculo do momento limite, foi analisado o caso com de parede com aba, utilizando o método da norma antiga, onde analisa a estrutura com um centro de gravidade único nas armaduras, simplificando os cálculos. O procedimento de cálculo foi desenvolvido de acordo com as diretrizes estabelecidas por especialistas e pesquisadores no campo do dimensionamento de alvenaria estrutural. Dentre as referências fundamentais para a elaboração desse procedimento, destacam-se os seguintes livros:

- BASTOS, 2021, Alvenaria Estrutural;
- LOPES, 2022, Dimensionamento de uma parede de alvenaria estrutural, considerando a NBR 16868: 2020;
- PARSEKIAN, Guilherme A., 2012 Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural;

Figura 4 – Representação para cálculo do momento limite.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a estrutura, é possível determinar o valor do momento limite que resultará nas hipóteses de aplicação. Com o equilíbrio de momento em relação ao centro de gravidade adotado, tem-se:

$$N_{sd}e_s = R_{cd} \cdot (d - 0,5y) \quad (3)$$

Em que:

$$R_{cd} = (b_{a1} + b_{a2} + b_w) \cdot y \cdot f_d \quad (4)$$

$$e_s = e + (d - y_{cg}) \quad (5)$$

Onde: R_{cd} é a resultante de compressão na aba; e_s é a excentricidade da força normal N_{sd} é a força normal solicitante; b_{a1} , b_{a2} , b_w , são as dimensões da alma, assim como mostra a Figura 4, sendo y a altura espessura da parede que vai resistir aos esforços.

No limite da aba: $y = h_f$, sendo h_f a espessura da aba e $N_{sd}e_s = M_{lim}$, sendo M_{lim} o momento limite.

$$M_{lim} = (b_{a1} + b_{a2} + b_w) \cdot h_f \cdot f_d \cdot (d - 0,5h_f) \quad (6)$$

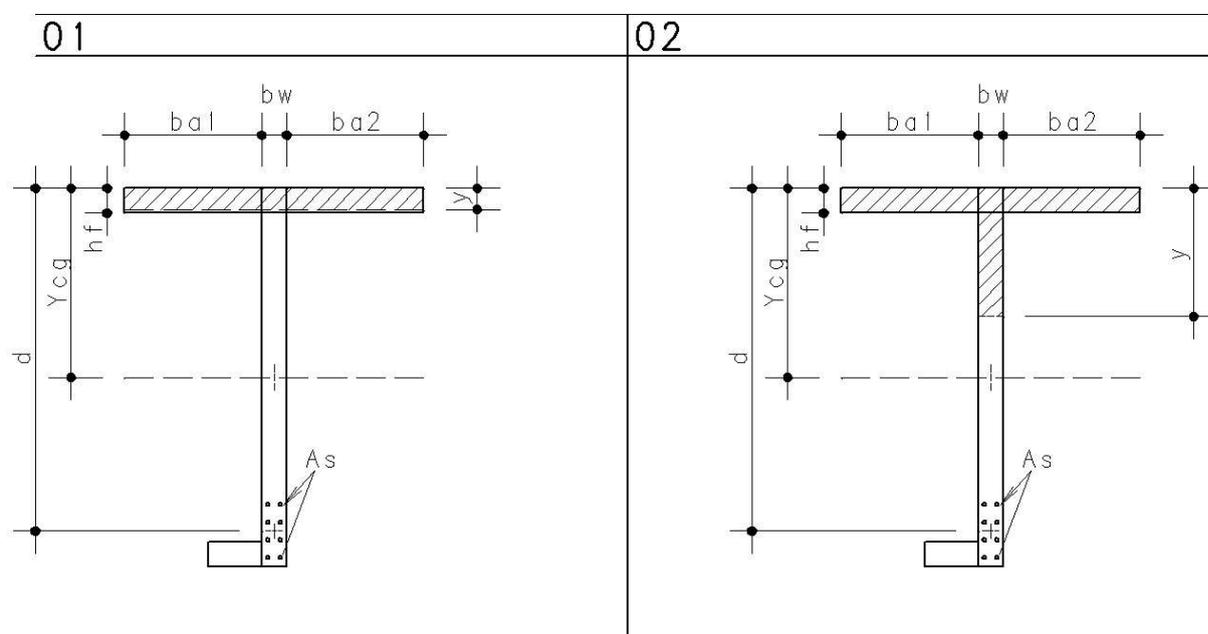
Assim, analisando as seguintes condições:

- Se o momento atuante for menor que o limite: hipótese 1 (região comprimida concentrada na aba);
- Se não: hipótese 2 (região comprimida passa também pela alma).

2.3 HIPÓTESES DE DIMENSIONAMENTO

No método adotado, através do momento limite encontrado, houve duas hipóteses, na primeira, com o momento resultante menor que o momento limite, obtém-se a seção comprimida na aba da parede, já no segundo caso, onde o momento resultante ultrapassa o limite, a seção comprimida também se distribui na alma da estrutura.

Figura 5 – Representação das hipóteses 1 e 2.



Fonte: Autoria própria.

No caso 1 pelo equilíbrio de forças, tem-se:

$$R_s + N_d - R_c = 0 \quad (7)$$

$$N_d e_s = R_c (d - 0,4x) \quad (8)$$

Em que, R_s é a resultante de tensão do aço, R_c é a resultante de tensão no concreto e N_d o esforço normal solicitante, tem-se:

$$R_s = A_s \sigma_s \quad (9)$$

$$R_c = b_f 0,8x \cdot f_d \quad (10)$$

Onde A_s é a área de aço, σ_s a tensão solicitante, b_f o comprimento efetivo da aba e f_d a resistência da aba, tem-se:

$$b_f = b_{a1} + b_{a2} + b_w \quad (11)$$

Substituindo R_c na equação 8, encontra-se a posição da linha neutra x , sendo d a distância da extremidade comprimida até o centro de gravidade da armadura. Desse modo,

$$N_d e_s = b_f \cdot 0,8x \cdot f_d (d - 0,4x) \quad (12)$$

Organizando a equação de segundo grau:

$$x^2 - 2,5d \cdot x + \frac{N_d e_s}{0,32b_f f_d} = 0 \quad (13)$$

Depois de obter a posição da linha neutra, encontra-se o domínio de deformação, em seguida obtém-se a tensão correspondente:

- Se $x < 0,23d$ – domínio 2, onde a deformação $\varepsilon_s = 1\%$;
- Se $x \geq 0,23d$ – domínio 3 ou 4, onde $\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot 0,35\%$ (obtido pela compatibilidade de deformações).

Após isso, verifica-se:

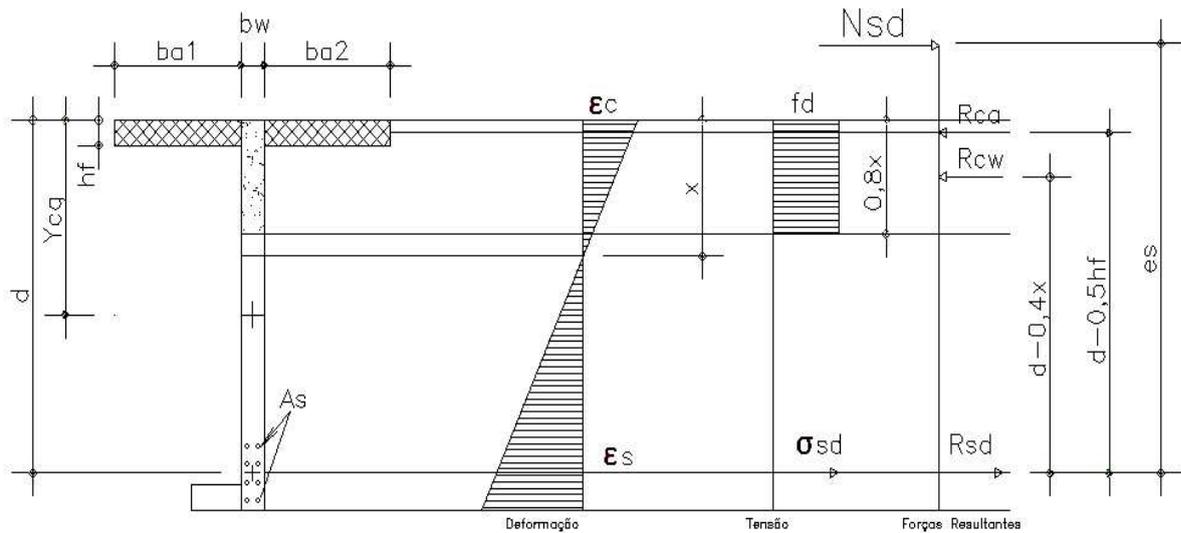
- Se $\varepsilon_s < \varepsilon_{yd}$, então $\sigma_s = E_s \varepsilon_s = 21000 \cdot \varepsilon_s$ (em kN/cm²);
- Se não: $\sigma_s = f_{yd}$.

Onde f_{yd} é a tensão de escoamento do aço, E_s o módulo de elasticidade e ε_{yd} a deformação do aço, obtém-se a armadura necessária é dada a partir da equação de equilíbrio de forças (7):

$$A_s = \frac{R_c - N_d}{\sigma_s} \quad (14)$$

Já no segundo caso, teremos o diagrama retangular de compressão na parede como simplificação ao diagrama parábola.

Figura 6 – Representação dos esforços e tensões do caso 2.



Fonte: Autoria própria.

A partir disso, temos a equação de equilíbrio de forças na horizontal:

$$R_{sd} + N_{sd} - R_{ca} - R_{cw} = 0 \quad (15)$$

Onde, R_{ca} e R_{cw} são as resultantes de compressão na aba e na alma, respectivamente, dessa forma, tem-se:

$$R_{sd} = A_s \sigma_{sd} \quad (16)$$

$$R_{cw} = (b_w 0,8x) f_d \quad (17)$$

$$R_{ca} = b_f h_f f_d \quad (18)$$

$$b_f = b_{a1} + b_{a2} \quad (19)$$

Fazendo o equilíbrio em relação ao centro de gravidade das armaduras:

$$N_{sd} e_s = R_{cw} (d - 0,4x) + R_{ca} (d - 0,5h_f) \quad (20)$$

A resultante de compressão na aba R_{ca} não depende da profundidade da linha neutra, assim chamando o momento gerado pela resultante na alma de M_w , obtém-se:

$$M_w = R_{cw} (d - 0,4x) \quad (21)$$

Então,

$$M_w = N_{sd} e_s - R_{ca} (d - 0,5h_f) \quad (22)$$

Substituindo R_{cw} da equação (17) na equação (21), temos:

$$M_w = b_w \times 0,8x \times f_d \times (d - 0,4x) \quad (23)$$

Logo, tem-se uma equação do segundo grau, na forma:

$$x^2 - 2,5dx + \frac{M_w}{0,32b_w f_d} = 0 \quad (24)$$

Depois de resolver a equação do segundo grau, encontra-se a posição da Linha neutra x . Em seguida verifica-se o domínio de deformação, determinando:

- Se $x < 0,23d$ – domínio 2, onde a deformação: $\varepsilon_s = 1\%$;
- Se $x \geq 0,23d$ – domínio 3 ou 4, onde $\varepsilon_s = \frac{d-x}{x} \cdot 0,35\%$ (obtido pela compatibilidade de deformações);

Após isso, verifica-se:

- Se $\varepsilon_s < \varepsilon_{yd}$, então $\sigma_s = E_s \varepsilon_s = 21000 \cdot \varepsilon_s$ (em kN/cm²);
- Se não: $\sigma_s = f_{yd}$.

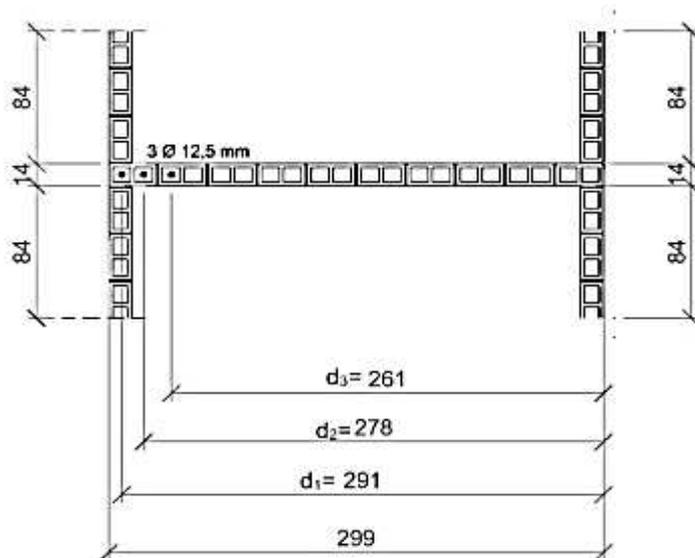
Por fim, a armadura necessária é obtida a partir da equação de equilíbrio de forças (15):

$$A_s = \frac{R_{ca} + R_{cw} - N_{sd}}{\sigma_s} \quad (25)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De forma a elucidar as considerações e o processo prescrito no tópico 2, foram feitos os seguintes exemplos: parede com abas, com as dimensões exibidas na figura (7), onde foram feitas variações na resistência dos blocos, no comprimento da parede, e uma comparação entre métodos com a finalidade de obter-se uma comparação na armadura.

Figura 7 – Dimensões da parede utilizada.



Fonte: Viera (2022).

Para o caso, foi utilizado a parede com abas sem graute exemplificada na figura 7. O dimensionamento da seção considerando que as barras de aço estão na região tracionada, apresentam $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ para todos os casos, com as resistências obtidas segundo a recomendação da ABNT NBR 16868-1:2020 para blocos de concreto vazados (Tabela 1). Destaca que a ABNT NBR 16868-1:2020 aponta que o comprimento efetivo (bf) para as abas em painéis de contraventamento deve obedecer ao limite $bf \leq 6t$, como $t = 14 \text{ cm}$, tem-se que $bf, \text{max} = 84 \text{ cm}$.

Com isso, as resistências de cálculo podem ser estimadas conforme as equações (26) e (27) da norma vigente:

$$fd = \frac{0,7 \times fpk}{2} = \frac{0,7 \times 3,2}{2} = 1,12 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$fd^* = \frac{0,7 \times fpk^*}{2} = \frac{0,7 \times 6,4}{2} = 2,24 \text{ MPa} \quad (27)$$

Com o maior momento resistente ($MRd = 748,735 \text{ kNm}$) e a normal correspondente ($Nk = 211,81 \text{ kN}$) e utilizando $d = 278 \text{ cm}$, que seria a distância da extremidade comprimida até o centro de gravidade das armaduras. Assim, aplicando na equação (6) os dados mencionados, é possível determinar o momento limite, obtendo assim, $M_{lim} = 773,369 \text{ kNm}$.

Através do valor encontrado, é notável que o $MRd < M_{lim}$ sendo assim, adota-se o dimensionamento considerando a zona comprimida concentrada na altura da aba da parede. Partido para a hipótese 1, é necessário encontrar a altura da linha neutra x , que é obtida por meio da equação (13) de segundo grau, mas para isso é necessário determinar a excentricidade do esforço normal solicitante a partir da equação:

$$e_s = \frac{MRd}{Nk \times 1,4} = \frac{748,735 \text{ kNm}}{211,81 \text{ kN} \times 1,4} = 2,524989 \text{ m} \quad (28)$$

Com isso, a altura da linha neutra é $x = 0,445595 \text{ m}$, sendo $0,26 \times d = 0,6394 \text{ m}$, então, se $x < 0,23d$, resulta no domínio 2, onde $\varepsilon_s = 1\%$. Com isso, é possível determinar que a tensão solicitante $\sigma_s = f_{yd}$, concluindo assim, a partir da equação (7) a área de aço necessária. Assim, a armadura necessária é dada a partir da equação (14) é de $A_s = 9,892 \text{ cm}^2$.

3.1 VARIAÇÃO NA RESISTÊNCIA DO BLOCO

Além disso, foram calculados exemplos variando a resistência do bloco para uma melhor análise do exemplo aplicado, assim como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Resultado da variação da resistência dos blocos

RESISTÊNCIA DO BLOCO (MPa)	RESISTÊNCIA DO PRISMA (MPa)	MOMENTO LIMITE (KNm)	ÁREA DE AÇO (cm ²)
4	3,2	773,369	9,892165
8	6	1450,067	9,35606
12	8,4	2030,094	9,195544
16	10,4	2513,449	9,120629

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que ao aumentar a resistência do bloco (f_{bk}), obtém-se uma resistência do prisma (f_{pk}) maior conseqüentemente, resultando em uma diminuição na área de aço utilizada.

3.2 VARIAÇÃO NO COMPRIMENTO DA PAREDE

Na análise do exemplo, procedeu-se à variação do comprimento da parede conforme os valores mostrados na Tabela 2, levando em conta a presença de abas não grauteadas na seção. A área de aço e o valor de $f_{bk} = 4 \text{ MPa}$ foram mantidos constantes.

Tabela 2: Valores de Md e Nrd de acordo com o comprimento para o caso de abas sem graute.

L (cm)	Nrd (KN)	Md (KNm)
119	167,69	221,70
299	296,53	748,73
479	428,25	1401,60
659	566,79	2181,56
839	697,96	3089,24
1019	829,65	4121,88

Fonte: Viera (2022).

Dessa forma, com os valores máximos do momento resistente e da normal correspondente alinhados aos dados apresentados na Tabela 2, obteve-se os valores da área de aço mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores da área de aço considerando a variação de comprimento em cada método.

L (cm)	As III – Norma Antiga (cm²)	As III (cm²)	As II - Homogeneizada (cm²)	As II – Real (cm²)
119	8,17	3,68	7,66	7,58
299	9,892	3,68	9,22	9,04
479	11,49	3,68	10,16	9,91
659	12,31	3,68	10,96	10,67
839	13,01	3,68	11,84	11,52
1019	13,96	3,68	12,70	12,36

Fonte: Viera (2022).

3.2 COMPARAÇÃO DE MÉTODOS

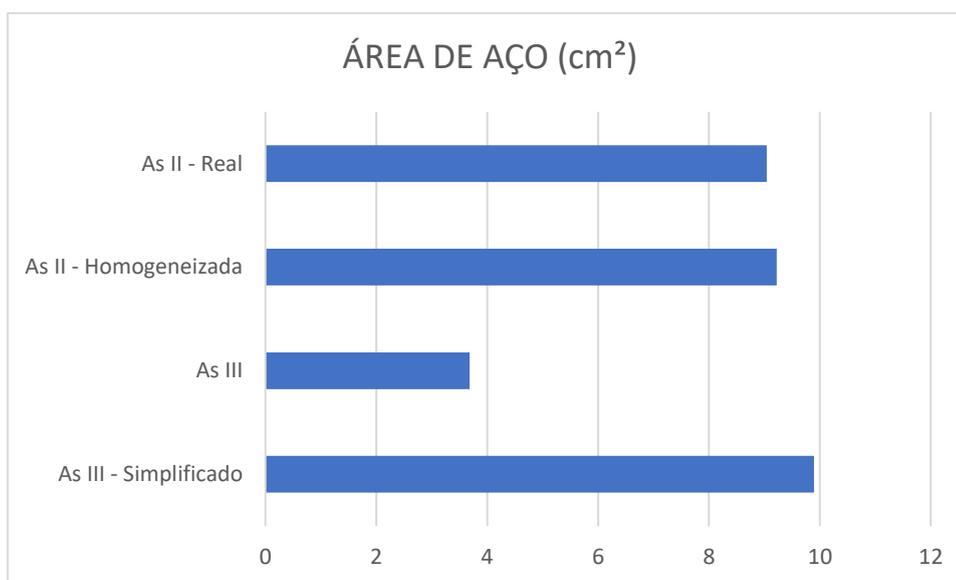
Comparando o caso analisado com os métodos, conforme visto nos tópicos anteriores, e os obtidos Segundo a ABNT NBR 16868-1:2020 para os casos de paredes com abas e sem graute no Estádio III (As III), e no Estádio II com seção homogeneizada (As II - Homogeneizada) e não homogeneizada (As II - Real), utilizando bloco com fbk= 4 MPa, tem-se a Tabela 4, que mostra a área de aço desses métodos.

Tabela 4: Valores da área de aço para parede com bloco fbk= 4 MPa.

MÉTODO UTILIZADO	ÁREA DE AÇO (cm ²)
As III – Norma Antiga	9,892
As III	3,68
As II - Homogeneizada	9,22
As II - Real	9,04

Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Gráfico da área de aço para parede com bloco f_{bk}= 4 MPa.



Fonte: Autoria própria.

Com a exposição desses resultados, nota-se que a área de aço no método simplificado da norma antiga gera uma área 2,6 vezes maior que o método mais da nova norma, que utiliza uma análise do centro de gravidade de cada barra, fazendo com que o método seja mais exato. Já comparando o método da norma antiga ao método utilizando o Estádio II, sendo seção homogeneizada ou real, obtém-se uma maior área de aço que nas outras duas hipóteses, sendo 1,07 vezes maior que a homogeneizada e 1,09 na real.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou levantar dados no dimensionamento de uma parede em alvenaria estrutural, modificando os métodos pelos quais foram executados. A ênfase desse projeto foi verificar qual método se torna mais econômico e preciso, avaliando formas onde se tem um método simplificado, onde se busca minimizar os cálculos para a obtenção de um resultado, visando apenas um centro de gravidade entre as armaduras, já no outro

método, utilizou-se de uma análise mais precisa, verificando os centros de gravidade de cada barra, isso estando dimensionados tanto no Estádio II (com seção homogeneizada ou não) quanto no Estádio III.

A partir disso, foi possível analisar que o método simplificado da norma antiga no Estádio III detém de uma margem de segurança bem maior que os outros casos, principalmente no Estádio III da nova norma, onde se tem um aproveitamento maior da resistência de escoamento do aço, gerando uma maior economia para a construção.

O Estádio II leva a resultados mais conservadores e menos econômicos que o Estádio III se confirma, somente para o caso sem abas com parede de 119 cm com momento resistente baixo, o Estádio II apresentou resultados melhores que o Estádio III. Por ser um processo simplificado, a ABNT NBR 16868-1:2020 impõe para o dimensionamento no Estádio II a redução de 50% no valor de f_{yd} , porém destaca-se que, para todos os casos adotados, ainda que fosse considerado toda a tensão de escoamento do aço, o Estádio III detalhado ainda seria mais econômico.

Destaca-se que por ser um processo analítico, nos casos em que a armadura da seção estudada for menor que a armadura mínima destacada pela ABNT NBR 16868-1:2020, o dimensionamento da seção foi mantido vide a análise de comparação entre os Estádios. Para trabalhos futuros, tem-se como recomendação a análise em edificações reais, considerando a armadura mínima estabelecida pela ABNT NBR 16868-1:2020, de forma a obter valores mais reais entre os Estádios. Destaca-se como principal contribuição deste trabalho, que a adoção do Estádio III detalhando os centros de gravidade das barras, para o dimensionamento de paredes de alvenaria estrutural, conduz a soluções mais econômicas para a maioria dos casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. G. **Análise de painéis de contraventamento de edifício em alvenaria estrutural considerando os efeitos localizados de 2ª ordem**. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40588>>. Acesso em: [data de acesso].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868- 1:2020: Alvenaria estrutural parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

BASTOS, P. Apostila. UNESP, Bauru, 2021. S. **Alvenaria Estrutural**. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Apost.%20Alvenaria%20Estrutural.pdf>>. Acesso em: [data de acesso].

DANTAS, K.G.M. **Estudo dos efeitos localizados de segunda ordem em paredes de contraventamento de edifícios de alvenaria estrutural.** 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/31754>>. Acesso em: [data de acesso].

FELISBERTO, L. A. **Boas práticas do projeto estrutural de estruturas de pequeno porte.** Tubarão, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4446>>. Acesso em: [data de acesso].

FREIRE, Fábio; PUGLIESI FILHO, Paulo; ALBESSÚ; Naiara. **Alvenaria estrutural em edifício de 24 pavimentos.** In: **Concreto & Construções. Sistemas construtivos Paredes de Concreto, Alvenaria Estrutural e Pré-fabricados de Concreto.** São Paulo: Revista oficial do Ibracon, 2018. Ed. 90. p. 26-33

LOPES, B. A.; PEREIRA, R. E. M.; ALMEIDA, R. C. S.; SOUZA, W. H. **Dimensionamento de uma parede de alvenaria estrutural, considerando a NBR 16868: 2020.** Disponível em: <<http://186.251.225.226:8080/handle/123456789/350>>. Acesso em: 2022.

MOHAMAD, G. **Construções em Alvenaria Estrutural - Materiais, projeto e desempenho.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2020.

PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** São Carlos: EdUFSCar, v. 1, 625p., 2012.

PARSEKIAN, G. A.; MEDEIROS, W. A. **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto.** 2022. Disponível em: <<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=FteSEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=IA3&dq=Influência+do+dimensionamento+da+alvenaria+estrutural+a+flexocompress%C3%A3o+nos+est%C3%A1dios+II+e+III+na+Engenharia+Civil/+Estruturas&ots=5vHyrtZYxX&sig=A11WX4axw0SzfK32FNT7e98Ncvw>>. Acesso em: [data de acesso].

SILVA, L.C. **Comparativo orçamentário de um edifício residencial analisando sistemas estruturais distintos: concreto armado e alvenaria estrutural.** Disponível em: <<http://192.100.247.84/handle/prefix/1457>>. Acesso em: 2020.

SILVA, T. A. **ESTUDO COMPARATIVO ORÇAMENTÁRIO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL ANALISANDO OS SISTEMAS ESTRUTURAIS: Alvenaria Estrutural e concreto armado.** 2019. Disponível em: <<http://192.100.247.84/handle/prefix/2542>>. Acesso em: [data de acesso].

SANTOS JÚNIOR, A. A. D.; OLIVEIRA, F. G. **Análise de Ampliação em Edificação Construída em Alvenaria Estrutural.** 2019. Disponível em: <<https://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/9303>>. Acesso em: [data de acesso].

STEINMETZ, I. **Alvenaria estrutural: dimensionamento de um edifício de quatro pavimentos utilizando blocos vazados de concreto.** Engenharia Civil-Pedra Branca,

2018. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4673>>. Acesso em: [data de acesso].

VIERA, Samara Dantas. **Estudo comparativo sobre o dimensionamento de alvenaria estrutural em flexocompressão no estádio II e III.** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos.

VIEIRA, C. A. S. **Dimensionamento de um edifício residencial de cinco pavimentos em alvenaria estrutural de acordo com a ABNT NBR 15961-1: 2011 com análise do efeito arco.** 2019. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/10327>>. Acesso em: [data de acesso].