



FACULDADE DE EXCELÊNCIA UNEX DE ITABUNA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O COMPORTAMENTO DE
VERGALHÃO DE AÇO E DE FIBRA DE VIDRO, EM UM PILAR DE
UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL.**

Celso Rafael Oliveira Simões¹

Eder dos Santos Silva¹

Lucas Wense de Oliveira¹

Anderson Alves Santos²

RESUMO

Dentro da construção civil é de consenso que, o aço possui importante papel em estruturas de concreto armado, largamente utilizado em todos os setores da engenharia civil, possuindo diversos modelos, cada um com a sua especificação, ao qual atendem à demanda de consumo de todas as regiões do Brasil. Em contrapartida temos uma indústria cada vez mais crescente que oferece vergalhões em Polímero reforçado com Fibra de Vidro, como uma alternativa promissora em substituição as barras de aço convencionais. O presente trabalho apresenta comparação entre os vergalhões de aço e o de Fibra de Vidro quando aplicados no pilar intermediário de uma residência convencional térreo. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica e explicativa realizada a partir de fontes nacional e internacionais, para isso utilizou-se artigos e trabalhos acadêmicos de domínio público, bem como normas traduzidas que regem a área da construção civil. Os dados da pesquisa deixam evidenciados que, normativamente não se aplica barras de fibras de vidro em pilares. Portanto comparar barras de aço com barras de fibra de vidro, se torna importante por se tratar de um assunto pouco explorado, onde existe uma carência muito grande de informações que nos levem a correta utilização deste material.

Palavras-chave: Vergalhões de fibra de Vidro; pilares; construção; Barras de aço.

¹ Discente do curso de Engenharia da Faculdade de Excelência de Itabuna, e-mail: avliseder@hotmail.com; lucaswense2018@gmail.com; rafael.simoes088@gmail.com;

² Orientador do curso de Engenharia da Faculdade de Excelência de Itabuna, e-mail: eco.economia@uol.com.br.

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é a associação do concreto simples com uma armadura, constituída por barras de aço, que devem resistir aos esforços solicitantes, de forma solidária pela aderência, conforme discute Pinheiro e Giongo (1986).

A utilização de armaduras de aço em estruturas de concreto é algo comum para a Engenharia Civil, que oferece o produto com variedade, tendo normas bem definidas para a sua aplicação. O atual processo construtivo apresenta variáveis que precisam ser levadas em consideração, como a possibilidade de oxidação da armadura de aço, e os impactos causados no processo de extração e obtenção do aço final.

Diante das afirmativas, a pesquisa pautou-se nos vergalhões em fibra de vidro, tecnicamente possíveis, de serem utilizados em substituição aos de aço convencional, quando aplicados em um pilar intermediário, de uma residência.

Neste aspecto, e levando em consideração que, o objeto de estudo da pesquisa podem possibilitar grande avanço para o processo da construção civil, e para os usuários, tais como a utilização em ambientes alcalinos sem danos a armadura, contribuir com a preservação ambiental, gerando uma possível economia, propõe-se: Avaliar a viabilidade da substituição de armaduras metálicas por armaduras em fibra de vidro em um pilar de concreto armado, em uma residência unifamiliar no município de Itabuna - Bahia, e como objetivos específicos: Analisar a aplicação do concreto armado com fibra de vidro em relação as executadas com armadura em aço, comparar se a armadura de fibra de vidro supera a armadura metálica em resistência e segurança, e verificar se é economicamente viável a utilização de armaduras de fibra de vidro.

É de consenso que, o aço possui importante papel em estruturas de concreto armado, cuja indústria atende à demanda de consumo de todas as regiões do Brasil, contudo temos uma indústria cada vez mais crescente que oferece vergalhões em Polímero reforçado com Fibra de Vidro, como uma alternativa promissora em substituição as barras de aço convencionais, largamente adotadas em diversos países, como o Japão, Canadá e Estados Unidos, cujos estudos avançam a cada dia de forma promissora.

Diante do exposto, o objeto geral da pesquisa buscou avaliar a viabilidade da substituição de armaduras metálicas por armaduras em fibra de vidro em um pilar de concreto armado, em uma residência unifamiliar no município de Itabuna - Bahia.

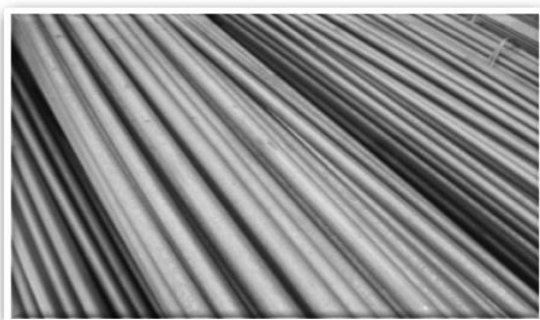
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Sobre o tema, percebeu-se que há carência bibliográfica de conteúdos nacionais que normatize a sua correta utilização. Contudo foi possível encontrar outros trabalhos científicos e artigos, bem como normativos de países considerados referência pela comunidade científica, possuindo estes, normas que apresentam a sua correta utilização, que auxiliaram na produção do presente conteúdo.

2.1 Vergalhão de aço

O vergalhão é uma barra de aço usada na composição das principais armaduras da estrutura com o uso aderente junto ao concreto, aplicado em pilares, vigas, lajes entre outros, a sua superfície pode ser lisa, voltado para as indústrias de pré-moldados ou superfície nervurada onde é utilizado na construção civil.

Figura 1 – Trata-se de vergalhão de superfície lisa e nervurada respectivamente.



CENA A



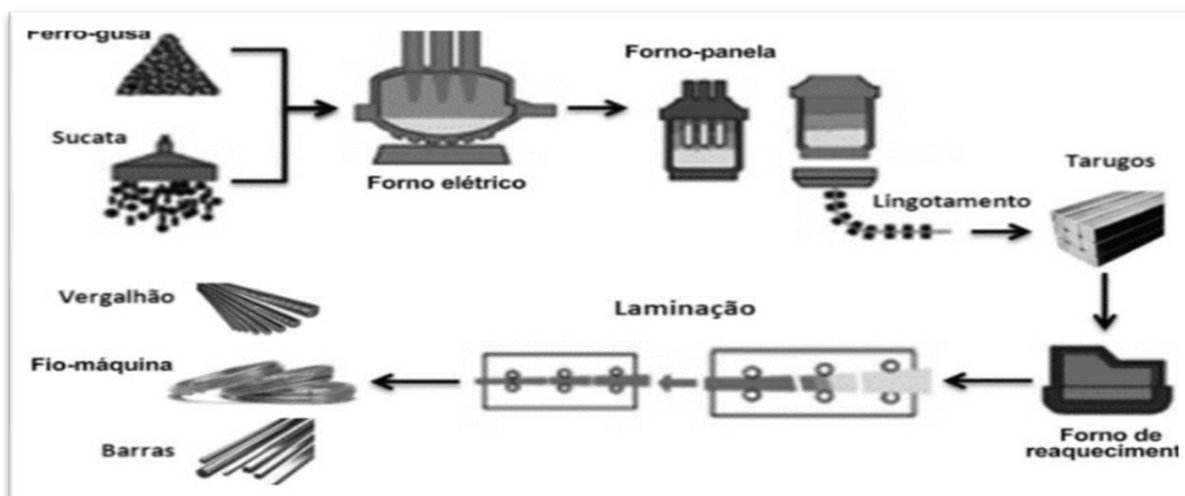
CENA B

Fonte: DAROIT, 2012.

2.2 Fabricação do vergalhão de aço

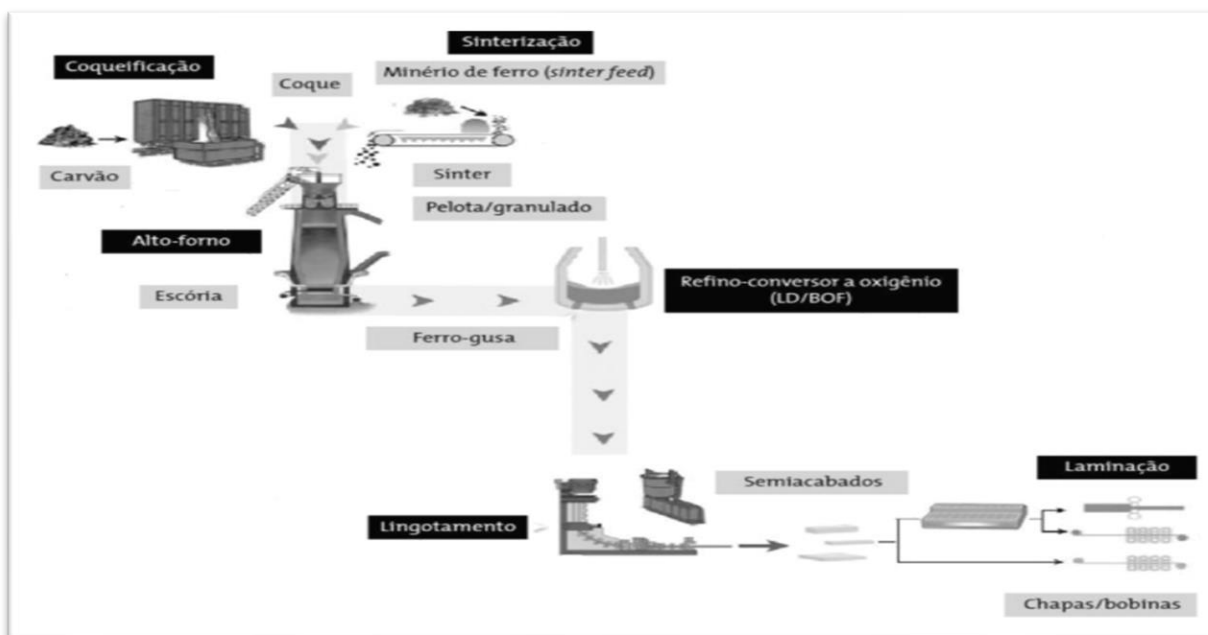
Araújo (2021) cita que a produção do aço pode ocorrer através de duas rotas: a integrada e a semi-integrada. As usinas integradas operam em três fases básicas: redução, refino e laminação; e as usinas semi-integradas operam em duas fases básicas: refino e laminação. Para fabricar os vergalhões de aço é utilizado o ferro-gusa, elemento derivado do minério de ferro pelo carvão e calcário. Em seguida, o aço passa por um dispositivo chamado lingotamento contínuo, onde é moldado, resfriado e colocado nas dimensões escolhidas. As figuras 3 e 4 apresentam, esquematicamente, os dois tipos de usinas utilizadas para produção de aço: as integradas e as semi-integradas.

Figura 2 – Esquema semi-integrado



Fonte: CARVALHO; MESQUITA; ARAÚJO, 2015.

Figura 3 – Esquema integrado



Fonte: CARVALHO; MESQUITA; ARAÚJO, 2015.

2.3 Vergalhões de fibra de vidro

Os vergalhões de fibra de vidro, também denominados como Polímero Reforçado de Fibra de Vidro (PRFV), apresentam resistência elevada a tração e são extremamente seguros com relação às variações físico-químicas do meio. Os vergalhões de fibra de vidro possuem uma elevada resistência mecânica à tração, resistência à água e à elementos químicos, além de um custo relativamente baixo

(ABBOOD et al., 2021). Apresentam peso específico muito inferior se comparado com aço, aproximadamente 80% mais leve, sendo prático para o transporte podendo ser entregue em rolos de até 200 metros em bitolas iguais ou inferiores a 12,5mm.

Figura 4 – Perfis de PRFV em cordoalha e Barra reta



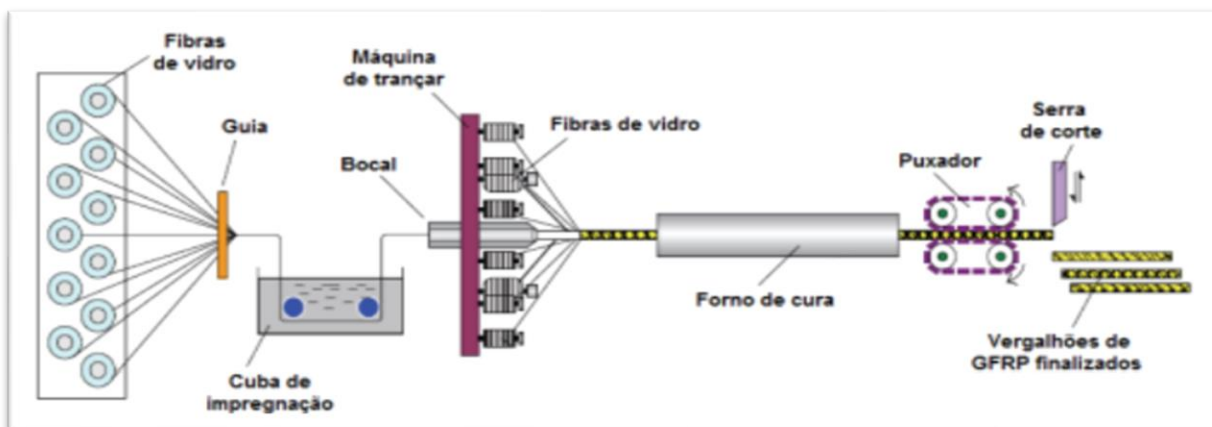
Fonte: Primeira concretagem do Verga Fibra no Brasil, Composite Group, 2021

2.4 Fabricação do vergalhão de fibra de vidro

Apresentam diferentes formas geométricas, fabricados em forma de roving ou cordoalha, fibra picada, telas, tecidos e em perfis pultrudados. As barras em perfis pultrudados são opções promissoras para substituir os vergalhões metálicos convencionais utilizados em obras, produzidas por meio da pultrusão das fibras impregnadas com resina termofixa (AHMED et al., 2020).

No processo de pultrusão, as fibras de vidro são tensionadas por um equipamento e direcionadas a uma cuba de impregnação, onde entrarão em contato com uma resina líquida e por fim moldadas por uma máquina na forma de vergalhões. As nervuras em superfície podem ser feitas pela adição de fibras de vidro.

Figura 5 – Processo de fabricação vergalhões de PRFV



Fonte: MOURA, 2021.

2.5 Concreto Armado

O concreto armado, que consiste em uma combinação do concreto com armaduras de aço é o eminente material mais utilizado pela construção civil no mundo; Segundo Bastos (2006), o concreto possui baixa resistência à tração, diferente do aço que possui uma alta resistência à tração, sendo assim o aço atua como um reforço, elevando assim a resistência do concreto.

2.6 Aderência

De acordo com Pinheiro (2007), qualitativamente, a aderência pode ser dividida em aderência por adesão, aderência por atrito e aderência mecânica. A adesão resulta das ligações físico-químicas que se estabelece na interface dos dois materiais, durante as reações de pega do cimento. As forças de atrito dependem do coeficiente de atrito entre o aço e o concreto, o qual é função da rugosidade superficial da barra, e decorrem da existência de nervuras ou entalhes superficiais da barra.

Para ABNT NBR 7480 (1996) o comportamento solidário da barra com o concreto é quantificado por meio do coeficiente de conformação superficial das barras (η). A norma estabelece valores mínimos para η , de acordo com a Tabela 1, as barras de aço CA-50 são obrigatoriamente providas de nervuras transversais e oblíquas.

Quadro 1 – Valores do coeficiente de conformação

Categoria	CA-25	CA-50	CA-60
Coeficiente de conformação superficial mínimo para $\phi \geq 10\text{mm}$	1,0	1,5	1,5

Fonte: ABNT NBR 7480, 1996.

2.7 Estados limites

As estruturas de concreto armado também devem ter segurança, estando em conformidade com a verificação dos estados limites, que permite avaliar o desempenho em relação a finalidade das estruturas, são classificados em estados limites últimos e estados limites de serviço.

Para Pinheiro (2007), os estados limites últimos são aqueles que correspondem à máxima capacidade portante da estrutura, ou seja, a sua ocorrência resulta em paralização parcial ou total da construção, já os estados limites de serviço são aqueles que correspondem a condições precárias em serviço.

2.8 Estádios

Conforme Pinheiro (2007), a caracterização do desempenho de uma seção de concreto consiste em aplicar uma carga, que se inicia do zero e vai até a ruptura. Às diversas fases pelas quais passa a seção ao longo desse carregamento, dá-se o nome de estádios, distinguem-se basicamente em: estágio I, estágio II e estágio III.

2.9 Compósitos e normas técnicas na construção civil

Em relação ao concreto armado com PRFV, temos poucos estudos, quando comparados a outros países como, Estados Unidos da América, Canadá, Grã-Bretanha, Europa e Japão. Em 1996, a ACI (American Concrete Institute) publicou documento, com um resumo de todo o conhecimento que se possuía sobre materiais compósitos aplicados a estruturas de concreto, foi publicado no ACI 440R (1996).

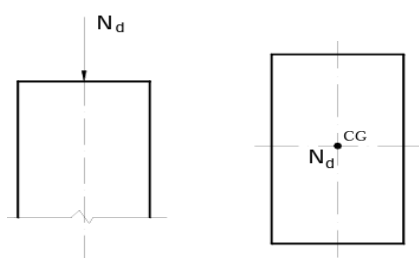
2.10 Análise de custo

Os preços do aço podem ser encontrados com preços menores que os das barras de Fibra de Vidro, já que a fonte do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) utiliza como custo o valor médio das amostras consultados, com correções estatísticas quando necessário.

2.11 Solicitações normais

Os pilares podem estar submetidos a forças normais e momentos fletores, gerando forças de compressão simples, também chamada compressão centrada ou compressão uniforme. A aplicação da força normal N_d é no centro geométrico (C_G) da seção transversal do pilar, cujas tensões na seção são uniformes (Figura 7).

Figura 6 – Solicitação de compressão simples ou uniforme

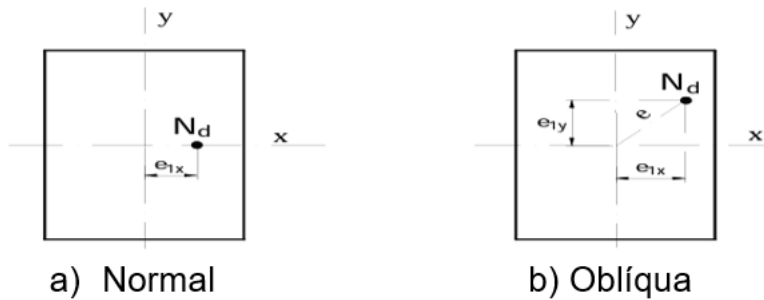


Fonte: ABNT NBR6118:2019

Flexão Composta, está sujeita a força normal e momento fletor, podendo se dividir em flexão composta normal, onde existe a força normal e um momento fletor

em uma direção, tal que $Mdx = e1x \cdot Nd$ (Figura 8a), e a flexão composta oblíqua, onde existe a força normal e dois momentos fletores, relativos às duas direções principais do pilar, tal que $M1d,x = e1x \cdot Nd$ e $M1d,y = e1y \cdot Nd$ (Figura 8b).

Figura 7 – Tipos de flexão composta



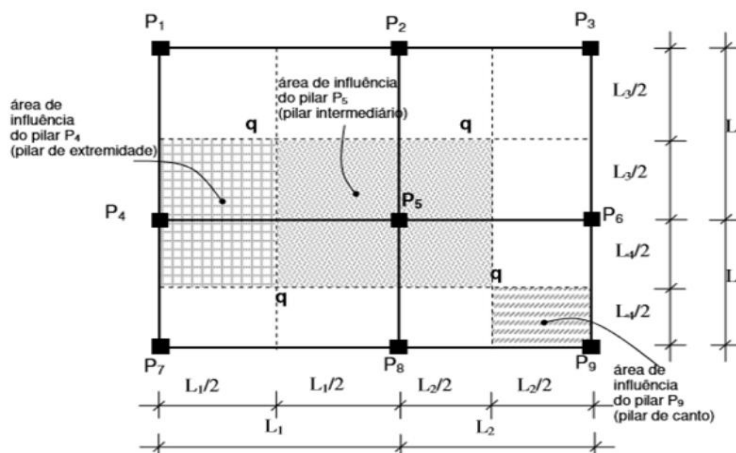
Fonte: ABNT NBR6118:2019

Flambagem, define-se como o “deslocamento lateral na direção de maior esbeltez, com força menor do que a de ruptura do material” ou como a “instabilidade de peças esbeltas comprimidas”. Uma barra comprimida pode resistir a cargas substancialmente superiores à carga crítica (N_{crit}), o que significa que a flambagem não corresponde a um estado-limite último, o entanto, para uma barra comprimida de Concreto Armado, a flambagem caracteriza um estado limite último.

2.12 Área de influência

A área de influência de um pilar representa a região ou a abrangência onde as forças, pesos de lajes, madeiramentos, paredes e outros são transmitidos para os pilares, que varia de acordo com a disposição do pilar, como mostrado na Figura 9.

Figura 8 – Layout da área de Influência de pilares.

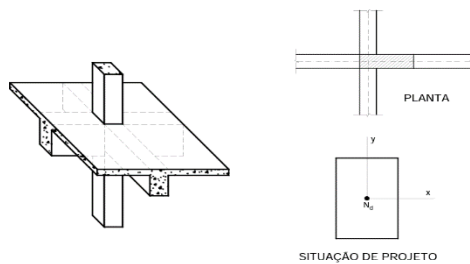


Fonte: Melo (2013)

2.13 Pilares intermediários.

Nos pilares intermediários (Figura 10) considera-se a compressão centrada na situação de projeto, pois como as lajes e vigas são contínuas sobre o pilar, pode-se admitir que os momentos fletores M_A e M_B de 1ª ordem nas extremidades transmitidos ao pilar sejam pequenos e desprezíveis.

Figura 9 – layout do Arranjo estrutural, dos pilares intermediários.



Fonte: ABNT NBR6118:2019

2.14 Coeficiente de majoração

Segundo a ABNT NBR 6118:2019 nas seções transversais de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 14 cm. Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Tabela 2.

Figura 10 – Coeficiente de majoração do carregamento

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$; b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm). NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.						

Fonte: ABNT NBR6118:2019

2.15 Valores de carregamento

Para levantamento das cargas utilizou-se da NBR6120/2019, a qual foi utilizada para a adoção dos valores de referência para o cálculo.

Figura 11 – Quadro contendo valores do peso próprio da estrutura de telhado.

 ABNT/CB-002 PROJETO DE REVISÃO ABNT NBR 6120 AGO 2018	
Tabela 6 – Telhados	
Composição	Peso na superfície horizontal kN/m ²
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
NOTA Peso por metro quadrado de telhado, na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte (tesouras, terças, caibros e ripas).	

Fonte: ABNT NBR6120:2018

Figura 12 – Quadro contendo valores do peso próprio da estrutura.

Tabela 8 – Forros, dutos e <i>sprinkler</i>	
Material	Peso kN/m ²
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,10
Dutos de ventilação, sem isolamento térmico	0,20
Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico	0,30
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm	0,10
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm	0,15

Fonte: ABNT NBR6120:2018

2.16 ACI.440-06 no subcapítulo 8.2.5.3

A norma ACI 440.1R-06, no subcapítulo 8.2.5.3, não recomenda a utilização das barras (PRFV) em elementos sujeitos a esforços de compressão ou como armadura de compressão em elementos a flexão. Porque tais barras tem uma resistência à compressão significativamente menor do que a resistência à tração e está sujeita a variações significativas (Kobayashi e Fujisaki 1995; JSCE 1997b). Portanto, a resistência de qualquer barra PRF à compressão deve ser ignorada nos cálculos de projeto (Almusallam et al. 1997).

A colocação de barras PRF na zona de compressão de membros dimensionados a flexão, entretanto, não pode ser evitada em alguns casos. Os exemplos incluem os suportes de vigas contínuas ou onde as barras fixam os estribos no lugar. Nestes casos, deve-se considerar o confinamento das barras de PRFV nas regiões de compressão para evitar a sua instabilidade e minimizar o efeito da expansão transversal relativamente elevada de alguns tipos de barras de PRFV.

3 METODOLOGIA

3.1 Objeto de pesquisa

O objeto de estudo, tratou-se da comparação entre os vergalhões de aço e de fibra de vidro no pilar intermediário de uma casa convencional térreo, onde foi adotado uma planta baixa residência unifamiliar com dimensões de (6X10) metros, sem laje, com telhado de fibrocimento com inclinação de 10%, tendo duas águas e platibanda de 80 centímetros de altura, tendo ainda forro de acabamento fixado no madeiramento, onde foram desprezadas as cargas de vento, por ter telhado protegido.

3.2 Materiais e métodos

Este trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica que norteiam o tema, sendo desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, bem como aquelas que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema, também costumam ser desenvolvidas quase exclusivamente mediante fontes bibliográficas. (GIL, 2010, p.44).

Esta pesquisa também é exploratória, com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, aprimoramento de ideais ou a descoberta. “Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (Selltiz et al., 1967, p. 63)”.

3.3 Procedimento Analítico

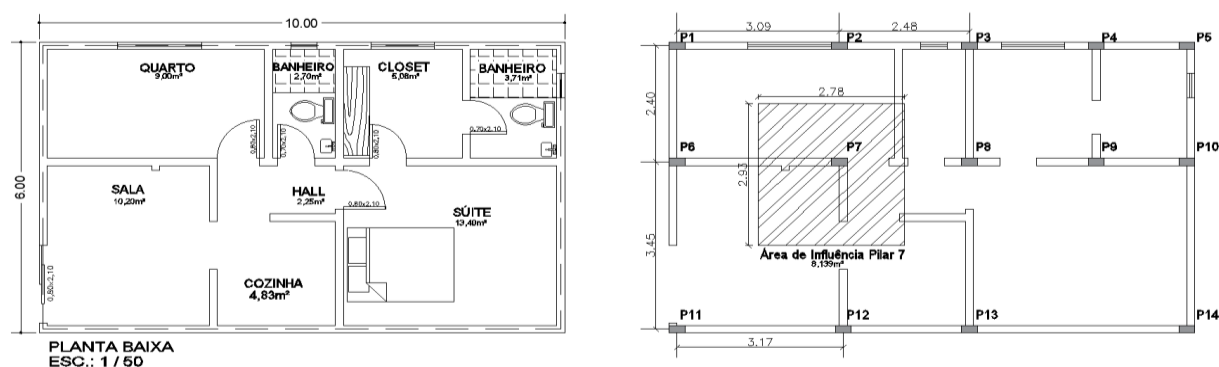
Para a obtenção dos cálculos, necessários ao comparativo analítico, da área de aço convencional foi utilizado a norma NBR 6118:2019, bem como aplicado o método do pilar padrão com curvatura aproximada, como ferramenta de obtenção dos quantitativos de aço a ser aplicado no pilar P7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição dos pilares e cálculo da área de influência

De posse dos dados bibliográficos para dimensionamento de pilares constante na NBR6118:2019, iniciou-se os cálculos, com a finalidade de se conhecer a área de aço de um pilar intermediário chegando aos seguintes resultados:

Figura 13 – Layout da planta baixa utilizada, contendo as distribuições dos pilares e levantamento da área de Influência do pilar P7 a ser analisado.



FONTE: Do autor, (2023).

Com base nas dimensões da planta baixa residencial térrea com as dimensões constantes na (Figura 13), aplicou-se a distribuição dos pilares bem como o cálculo da área de influência a ser utilizado no processo de dimensionamento do pilar intermediário P7.

4.2 Levantamento das cargas

Para o levantamento das cargas de telhado e forro, utilizou-se as informações constantes nas figuras (fig.11 e 12), chegando ao seguinte resultado: $q_{t+f} = q_{telhado} + q_{forro} = 0,4 + 0,15 = 0,55 \text{ kN/m}^2 \cong 0,6 \text{ kN/m}^2$; que multiplicado pela respectiva área de influência do pilar P7, $q_T = 0,6 \cdot 8,139 = 4,883 \text{ kN} \cong 5 \text{ kN}$;

Foi adotado peso próprio das vigas igual ao dos pilares, $PP_v = PP_p = 1,05 \text{ kN/m}$, e como se tem um valor de 5,71 metros de viga, concluiu-se que $q_V = 1,05 \cdot 5,71 = 5,99 \text{ kN} \cong 6 \text{ kN}$; Desta forma o peso que descarrega nos pilares, $N_k = q_T + q_V = 5 + 6 = 11 \text{ kN}$; N_k é a Força normal característica do pilar; N_d é a Força normal solicitante de cálculo; γ_n , Coeficiente de majoração da força normal (Tabela 2); γ_f , coeficiente de ponderação das ações no ELU, seu valor é igual 1,4; calculou-se força normal:

$N_d = \gamma_n \cdot \gamma_f \cdot N_k = 1,25 \cdot 1,4 \cdot 11 = 19,25 \text{ kN}$; Obtendo então os seguintes dados:
 $F_{ck} = 30 \text{ Mpa}$; $F_{cd} = 2,14 \text{ kN}/(\text{cm}^2)$; Aço CA – 50; $d' = 3,0 \text{ cm}$; $\gamma_f = 1,4$; seção transversal $(14 \times 30) \text{ cm}$; $l_e = 300 \text{ cm}$; $N_k = 11 \text{ kN}$;

4.3 Procedimento de cálculo da área de aço no pilar intermediário P7.

Para o cálculo da área de aço de um pilar intermediário, utilizou-se as fontes bibliográficas analisadas, podendo-se concluir que não existem momentos e excentricidades de primeira ordem nas direções x, y, admitindo que a estrutura se encontra rígida, pelo prolongamento das vigas de amarração. Desta forma pode-se calcular o índice de esbeltez para as duas direções; $\lambda = 3,46 \cdot l_e/h = \lambda_x = 3,46 \cdot 300/30 = 34,60$; $\lambda_y = 3,46 \cdot 300/14 = 74,14$;

Mesmo em pilares cujas carga estão centrada e sabendo que não existem momentos significativos atuantes na estrutura, a norma prevê, possibilitando assim momentos fletores mínimos nas duas direções (x, y), aumentando a segurança; $M_{1d,min} = N_d \cdot (1,5 \cdot 0,03h)$; $M_{1d,min,x} = 19,25 \cdot (1,5 + 0,03 \cdot 30) = 46,20 \text{ kN} \cdot \text{cm}$; $M_{1d,min,y} = 19,25 \cdot (1,5 + 0,03 \cdot 14) = 36,96 \text{ kN} \cdot \text{cm}$; Logo em seguida determinou-se o índice de esbeltez limite, $\lambda = (25 + 12,5x e_1/h)/\alpha_b$, com $35 \leq \lambda \leq 90$; Para pilares intermediários, a excentricidade de primeira de primeira ordem $e_1 = 0$; $\alpha_b = 1$; logo temos, $\lambda_x = \lambda_y = 25 \leq 35 \rightarrow \therefore \lambda_{1,x} = \lambda_{1,y} = 35$, onde efetuou-se as seguintes comparações: $\lambda_x = 34,6 < \lambda_{1,x} \rightarrow \text{Não considerar efeitos de } 2^{\text{a}} \text{ Ordem na direção } x$; $\lambda_y = 74,14 > \lambda_{1,y} \rightarrow \text{considerar efeitos de } 2^{\text{a}} \text{ Ordem na direção } y$;

Foi calculado o momento de 2ª Ordem, pelo método do pilar padrão com curvatura aproximada nas duas direções (x,y); Na Direção y: para o valor adimensional de cálculo; $\vartheta = N_d/A_c \cdot F_{cd}$; obteve-se o que segue:

$\vartheta = 19,25/420 \cdot 2,14 = 0,0214$; $1/r = 0,005/h \cdot (\vartheta + 0,5) \leq 0,005/h$; $1/r = 0,005/14 \cdot (\vartheta + 0,5) \leq 0,005/14 = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$; ou $0,005/14 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$; Adotando-se o menor valor $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$; $M_{d,Tot,y} = M_{1d,min} + N_d \cdot \frac{l_e}{10} \cdot \frac{1}{r} \geq M_{1d,min}$; $M_{d,Tot,y} = 36,96 + 69,3 = 106,26 \text{ kN} \cdot \text{cm}$;

Direção x: $M_{d,Tot,x} = M_{1d,min,x} = 46,20 \text{ kN} \cdot \text{cm}$; Seguiu-se desta forma para o dimensionamento da armadura de aço longitudinal do pilar P7, obtendo-se, o valor de μ , que foi calculado em função dos momentos fletores, utilizando-se da seguinte expressão; $\mu_{x,y} = M_{d,Tot,xy}/h_{xy} \cdot A_c \cdot F_{cd}$;

$\mu_x = 46,20/30 \cdot 420 \cdot 2,14 = 0,0017$; $\mu_y = 106,26/14 \cdot 420 \cdot 2,14 = 0,0084$; Onde através da escolha do ábaco de Venturini pode-se chegar ao valor de (ω); $d'/h_x = 3/30 = 0,1$; $d'/h_y = 3/14 = 0,21 \cong 0,20$; escolhemos o ábaco A-9; Como: $\vartheta = 0,02$; *Situação desfavorável* $\mu_y = 0,008$; *Encontramos* $\omega = 0,00$;

Como ($\omega = 0$), adotou-se o cálculo da taxa de armadura mínima para o referido pilar, de acordo com a equação; $A_{s,min} = 0,004 \cdot A_c = 0,004 \cdot 420 = 1,68 \text{ cm}^2$; como normativamente a bitola mínima é $\varnothing 10 \text{ mm}$, adotou-se, $4\varnothing 10 \text{ mm}$ de aço CA – 50, para o pilar P7.

4.4 Análise

Para a opção onde se considera o Pilar P7, armado com Polímero Reforçado com Fibra de Vidro, constatou-se através das fontes bibliográficas, bem como através da ACI 440.1R-06, no subcapítulo 8.2.5.3, a norma não recomenda a utilização das barras (PRFV) em elementos sujeitos a esforços de compressão ou como armadura de compressão em elementos a flexão, por conta da microflambagem das fibras, com o risco de comprometer a segurança da estrutura.

Normativamente tornou-se inviável a aplicação de barras de fibras de vidro em pilares, não sendo possível levantar os quantitativos necessários à sua comparação com a área de aço convencional encontrada no subcapítulo 4.3, o que torna o aço uma opção segura e economicamente viável. O que não descarta, dado ao crescimento da tecnologia, que amanhã a fibra possa ter características que venham competir com o ferro, o que por hora se torna inviável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação trás no seu bojo, análise que poderá servir de base em possíveis consultas direcionadas, bem como tomadas de decisões quanto a aplicação dos materiais compósitos de Fibra de Vidro em pilares, seja por pesquisadores ou qualquer um da sociedade que pretenda utilizar a PRFV (Polímero Reforçado com Fibra de Vidro) em estruturas como está.

A mesma se torna importante por se tratar de um assunto pouco explorado, onde existe uma carência muito grande de informações que nos levem a correta utilização deste material, contribuindo assim de forma clara e objetiva com aspectos que levam a correta utilização de materiais como os PRFV, ora analisado.

6 REFERÊNCIAS

- ACI 440.2R-02. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. Farmington Hills, MI, 2002.
- ADMINDRIFT. **Vergalhões de aço: Como são fabricados?** Disponível em: <<https://giassiferroeco.com.br/vergalhoes-de-aco-como-sao-fabricados/#:~:text=Para%20fabricar%20os%20vergalho%C3%B5es%20de,momento%20em%20que%20%C3%A9%20feita>>. Acesso em: 29 maio. 2023.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.1R-15: **Guide for the Design and Construction Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars**. Farmington Hills: Aci, 2015. 83p. Disponível em: <https://basalt-fibers.com/wp-content/uploads/2021/05/Standart_ACI-4401R15.pdf>. Acesso em: 21Mai23.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: **Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado** - requisitos. R.Jan2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BATISTA, L. **Aplicação de Regressão Múltipla na análise de variáveis do processo de fabricação de vergalhões em uma indústria de aço**. USP/SP, 2015. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2015/MIQ15022.pdf>>. Acesso em: 28 maio. 2023.
- COUTO, I. A. **Análise teórica e experimental do comportamento da aderência entre o concreto e barras de fibra de vidro impregnada por polímero**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.153p. São Carlos, 2007.
- DAMAS, A. P. **Estudo de confiabilidade no projeto de pilares esbeltos de concreto de alta resistência**. Ufrgs.br, 2015. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/134894>>. Acesso em: 29 maio. 2023.
- JUNIOR, A. O.; **A Fibra de Vidro em Matrizes Poliméricas e Cimentícias e Seu Uso Estrutural em Construção Civil; O Estado-da-arte**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4618/DissAOJ.pdf?sequence=>>>.
- MAZZÚ, A. D. E. **Substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos.190p. São Carlos, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12770/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20%20Amanda%20Duarte%20Escobal%20Mazz%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.Acesso em:20Mai23.
- PINHEIRO, L. M; GIONGO, J.S. **Concreto armado: propriedades dos materiais**. São Carlos, EESC-USP, Publicação 005 / 86. 79p, 1986.
- SILVA, M. R. C. B; **Comportamento de vigas de concreto armadas com barras de CFRP e GFRP para infraestrutura de transportes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 206p, 2014.