

UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**SUBSTITUIÇÃO DO VERGALHÃO DE AÇO POR VERGALHÃO DE FIBRA DE
VIDRO NAS VIGAS**

EMERSON EMBANA SALVADOR

MARINGÁ – PR

2022

Emerson Embana Salvador

**SUBSTITUIÇÃO DO VERGALHÃO DE AÇO POR VERGALHÃO DE FIBRA DE
VIDRO NAS VIGAS**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Me. Ronan Yuzo Takeda Violin.

MARINGÁ – PR

2022

FOLHA DE APROVAÇÃO
EMERSON EMBANA SALVADOR

**SUBSTITUIÇÃO DO VERGALHÃO DE AÇO POR VERGALHÃO DE FIBRA DE
VIDRO NAS VIGAS**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Me. Ronan Yuzo Takeda Violin.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ronan Yuzo Takeda Violin – Unicesumar

Prof. Me. Judson Ricardo Ribeiro da Silva – Unicesumar

Prof. Me. Claudio de Souza Rodrigues – Unicesumar

SUBSTITUIÇÃO DO VERGALHÃO DE AÇO POR VERGALHÃO DE FIBRA DE VIDRO NAS VIGAS

Emerson Embana Salvador

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo dimensionar uma viga, utilizando os polímeros reforçados com fibra de vidro na armação, analisar os resultados obtidos no dimensionamento feito com o aço e verificar a viabilidade de uma possível substituição. Com base em um projeto obtido no repositório da Universidade Cesumar, foi realizada uma planta baixa no Autocad (2023) e exportada para Eberick (versão demonstrativa), para o dimensionamento com o aço. Para o dimensionamento do projeto com polímeros reforçados com fibra de vidro, foram realizados os cálculos manualmente, seguindo as instruções da ABNT NBR 6118 (2014), Projeto de estruturas de concreto- Procedimento, e substituindo os parâmetros referentes às propriedades físicas do aço para as propriedades físicas dos polímeros reforçados com fibra de vidro, conforme instruções do Guia Técnico do Instituto Americano do Concreto (ACI 4401R, 2015). Os resultados obtidos mostram que os polímeros reforçados com fibra de vidro possuem melhor resistência à tração nas vigas, em comparação ao aço, pois os resultados obtidos no dimensionamento da armadura positiva e armadura negativa da viga analisada apresentaram menor área para combater os momentos fletores. Conclui-se, portanto, que ter um material com maior resistência à corrosão, quando submetido a meios ambientalmente mais agressivos do que o aço, abre-se uma gama de possibilidades para a área da construção civil.

Palavras-chave: Armadura. Dimensionamento. Propriedades físicas.

REPLACEMENT OF STEEL REBAR IN BEAMS WITH GLASS FIBER REBAR

ABSTRACT

This paper intends to design a beam, using Glass fiber-reinforced polymers (GFRP) in the framework, examine the outcomes of a steel design and assess the viability of a potential replacement. A floor plan was drawn in Autocad (2023), based on a project obtained from the Cesumar University repository and exported to Eberick (demonstrative version) for steel dimensioning. The calculations for the design of the project with glass fiber-reinforced polymers were carried out manually, in accordance with the instructions of NBR 6118 (2014) and substituting parameters pertaining to the physical characteristics of glass fiber-reinforced polymers for those referring to the physical properties of steel, as instructed in the American Concrete Institute Technical Guide (ACI 440-1R, 2015). The results obtained show that polymers reinforced with glass fiber have better tensile strength in the beams, compared to steel, since the results obtained in the design of the positive reinforcement and negative reinforcement of the analyzed beam showed a smaller area to combat the bending moments. It is concluded, therefore, that having a material with greater resistance to corrosion, when subjected to more environmentally aggressive means than steel, opens up a range of possibilities for the field of civil construction.

Keywords: Framework. Design. Physical properties.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, aço é o material mais utilizado na construção civil para resistir aos esforços de tração e reforçar as estruturas em concreto armado, como lajes, pilares e vigas. Entretanto, quando está situado em regiões com classe de agressividade ambiental elevada, pode acontecer corrosão das armaduras. Sendo a construção civil uma área que está em constante evolução, surge a necessidade de desenvolver novos materiais com o objetivo de atender essas demandas.

Como alternativa às barras de aço, há barras de PRF (polímeros reforçados com fibra), as quais, segundo Berton (2019), são constituídas de uma matriz polimérica envolvida por uma resina, em que as fibras têm função de suportar as cargas e a resina de mantê-las unidas e protegidas do meio externo. As fibras mais utilizadas na fabricação das barras de PRF são as de carbono, vidro e aramida. Entre as três, a fibra de vidro tem mostrado ser a mais viável na substituição do aço na armação, apesar de ainda não ser muito acessível.

Até a presente data, não existe normas nacionais para o uso deste material, para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado o Guia Técnico do Instituto Americano do Concreto (ACI 440-1R, 2015), mostrando que esse material pode ser bem promissor, possuindo propriedades elevadas de resistência à tração, corrosão e ataques químicos.

Com isso, este trabalho baseia-se em um projeto arquitetônico para dimensionamento de vigas de uma residência, utilizando o aço na armação e utilizando o PRFV (polímeros reforçados com fibra de vidro) para comparar os resultados, a fim de analisar a viabilidade de uma possível substituição.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 MATRIZ POLIMÉRICA

A matriz polimérica tem como objetivo agrupar e transmitir as tensões nas fibras. Segundo Benmokrane (2017), também atua na proteção das fibras contra os danos por abrasão e impacto, mantendo-as sem contato com ambientes severos, como água, calor, sais e álcalis, pois esses podem afetar a durabilidade do material.

A matriz polimérica pode ser de dois tipos: termorrígidas, que possui uma estrutura tridimensional rígida que não pode ser modificada, e a termoplástica, cujo formato pode ser modificado. Segundo Poletto (2017), os polímeros termoplásticos apresentam vantagens sobre os termorrígidos, pois os termorrígidos, após passarem pelo processo de cura, apresentam reticulação das cadeias poliméricas, impedindo o processo de reciclagem, como a moagem e o reprocessamento, diferentes dos termoplásticos, que podem ser reciclados para fabricação de novos produtos. As resinas termorrígidas mais utilizadas na fabricação de PRF são epóxi, vinil éster e poliéster, apresentadas no quadro 1 com suas vantagens e desvantagens.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens das resinas

Tipo de resina	Vantagens	Desvantagens
Epóxi	Elevada resistência mecânica, boa aderência a diferentes tipos de fibras, alta resistência à corrosão.	Alto custo e longo processo de cura.
Vinil Éster	Boa resistência a álcalis, à adesão à fibra de vidro, a ataques químicos e alta resistência.	Baixa resistência ao impacto.
Poliéster	Boas propriedades mecânicas, química e estabilidade dimensional.	Utilização limitada devido à baixa resistência química.

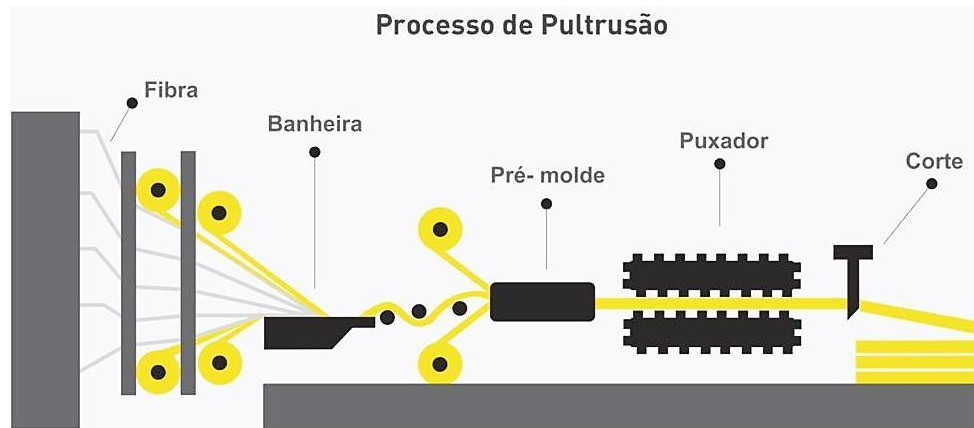
Fonte: Berton (2019).

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VERGALHÕES DE PRFV

O processo mais utilizado na produção desse material é o de pultrusão, no qual, segundo Biron (2018), inicialmente a fibra passa por um tanque de aquecimento, em que é coberta com uma matriz polimérica, seguida de um molde para a obtenção do diâmetro, e assim segue para um forno aquecido, onde será consolidada. Um puxador garante a movimentação da barra, conduzindo-a para a fase final, em que será cortada nas dimensões pré-determinadas em projeto.

A figura 1, a seguir, exemplifica um pouco desse processo para a obtenção de PRFV com nervuras.

Figura 1 – Processo de fabricação de PRFV



Fonte: Stratus frp (2022).

2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

O vergalhão de PRFV possui uma densidade que varia de 1,25 e 2,10 g/cm³, diferente do aço que é de aproximadamente 7,90 g/cm³, o que acaba reduzindo o custo de transporte e facilitando o manuseio ou uso no local (MOURA, 2021).

A fração de massa de fibra no vergalhão de PRFV é expressa pela relação entre a massa de fibras e a massa do vergalhão. Segundo Moura (2021), os vergalhões de PRFV devem apresentar, no mínimo, 70% de fração mássica de fibras.

Segundo Aci (2015), polímeros reforçados com fibra têm expansão térmica na transversal muito maior do que na direção longitudinal, e maior do que a expansão térmica do concreto endurecido. Essa diferença entre o coeficiente de expansão térmica transversal, nas barras de fibra de vidro e concreto, pode causar rachaduras dentro do concreto sob aumento da temperatura e, em último caso, falha na cobertura do concreto.

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Quanto às propriedades mecânicas, os vergalhões de PRFV apresentam melhor resistência à tração em comparação aos vergalhões de aço, por outro lado, menor módulo de elasticidade e não demonstram nenhuma deformação plástica quando submetidos à carga de tração, fazendo com que tenham falhas súbitas e quebradiças no ponto de carregamento final (MOURA, 2021).

Para analisar os comportamentos de aço, fibras de vidro e de carbono, quando esses estão em contacto com concreto, Araújo (2017) realizou o ensaio de arrancamento direto em nove corpos de prova. Os resultados mostraram que tanto aço quanto fibra de vidro possuem altos valores de tensão de aderência, mas a fibra de vidro tem uma leve vantagem quando se trata de deslizamento antes de atingir sua tensão máxima.

Segundo Aci (2015), a resistência à tração unitária de uma barra de PRF pode variar com o diâmetro, como numa situação em que barras de PRFV de três fabricantes diferentes mostraram reduções de resistência à tração de até 40%, à medida que o diâmetro aumenta proporcionalmente de 0.375 a 0.875.

Os métodos de teste padrão ainda não foram estabelecidos para caracterizar o comportamento compressivo das barras de PRF. Caso necessário, as propriedades compressivas das barras devem ser obtidas com o fabricante, que deverá fornecer uma descrição do método de ensaio utilizado para a obtenção das propriedades de compactação (ACI, 2015).

2.5 DURABILIDADE

Estudos realizados pelo Aci (2015) mostram que os valores de degradação nos vergalhões de fibra de vidro por ataque alcalino dependem do tipo de fibra e matriz polimérica. Na situação mais desfavorável, levando em consideração fibras E-glass e matriz de poliéster, foram colocadas numa solução de PH 12,8, em que apresentaram uma redução acima de 40% na resistência à tração (ARAÚJO, 2017).

Quanto ao efeito da umidade nos polímeros reforçados com fibra, estudos indicam que pode haver deterioração das resinas por rompimento das ligações dos polímeros, o que pode levar à redução da resistência e módulo de elasticidade. Segundo Araújo (2017), isso depende do tipo de fibra e normalmente com resinas de poliéster, geralmente acima dos 60°C.

Alguns pesquisadores realizaram estudos de aplicação do PRFV em ambientes salinos com concentrações de cloretos de até 4%, os resultados mostraram que esse material pode sofrer uma redução de até 50% de resistência e rigidez, quando combinados com alta temperatura e a longo prazo (ARAÚJO, 2017).

2.6 METODOLOGIA

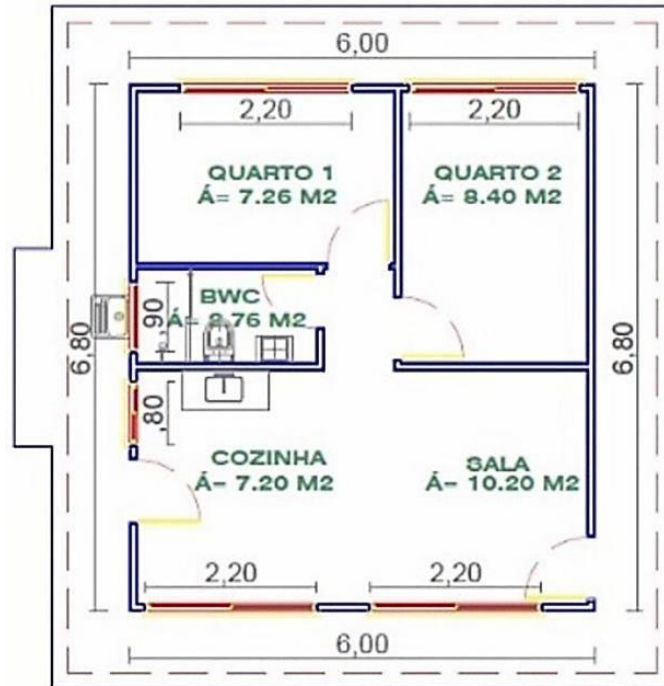
Para a realização deste trabalho, foi necessário realizar pesquisas por meio de buscadores em dissertações, teses e artigos, para obter um embasamento teórico e realizar um comparativo entre o aço e a fibra de vidro.

Foi utilizado um projeto arquitetônico obtido no repositório digital da Universidade Cesumar, para otimização do projeto arquitetônico executado pela Cohapar (Companhia de Habitação do Paraná) pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). A escolha desse projeto teve como motivo o modelo que é utilizado em implantações de conjuntos habitacionais em diversos municípios.

Para a realização dos cálculos referentes à armação em aço, foi utilizado o *software* Eberick (versão demonstrativa) da AltoQi, levando em consideração a ABNT NBR 6118:2014, e para a armação em PRFV, teve como auxílio o Guia Técnico do Instituto Americano do Concreto (ACI 440-1R, 2015), que segue a norma ACI 318 para o seu dimensionamento.

2.7 PROJETO BASE

A figura 2 apresenta o projeto utilizado para o dimensionamento com os dois materiais (aço e PRFV) na armadura, com sua área útil totalizando 36,99m².

Figura 2 – Projeto arquitetônico

Fonte: Modos (2017).

Para a elaboração da planta baixa no Autocad (versão estudantil, 2023), foram utilizadas as dimensões apresentadas na tabela 1, para definir a largura, altura, área e vão mínimo, de acordo com o projeto original.

Tabela 1 – Dimensões do projeto arquitetônico

Dimensões dos ambientes e abertura das janelas							
Ambiente	Características do ambiente				Características da janela		
	Largura	Altura	Área m ²	Vão min.	Largura	Altura	Área
Sala	3,40	3,00	10,20	2,04	2,20	1,00	2,2
Cozinha	2,40	3,00	7,20	1,03	2,20	1,00	3,00
					0,80	1,00	
Banheiro	2,30	1,20	2,76	0,39	0,90	0,60	0,54
Quarto 1	3,30	2,20	7,26	1,45	2,20	1,00	2,20
Quarto 2	2,40	3,50	8,40	1,68	2,20	1,00	2,20
Circulação	0,90	1,30	1,17	0,00	00	0,00	0,00

Fonte: Modos (2017).

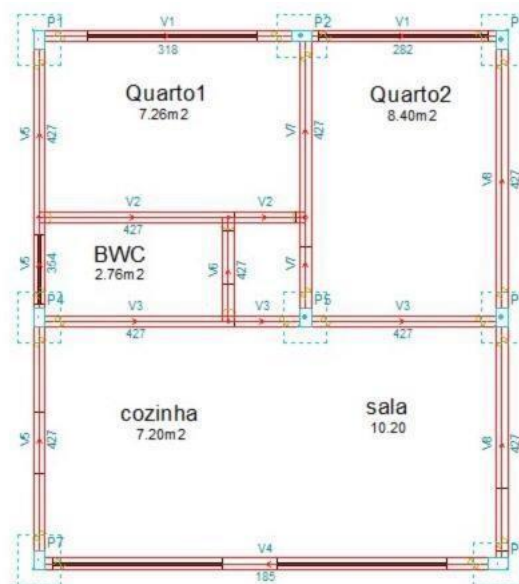
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA DA VIGA COM AÇO

Para realizar todo dimensionamento do projeto com o aço na viga, foi utilizado o *software* de cálculo estrutural Eberick (versão demonstrativa), que é destinado ao projeto de edificações em concreto armado, para fazer a elaboração de todas as etapas, desde a concepção estrutural até a entrega dos documentos. O programa possibilita a visualização do projeto de engenharia e arquitetura, em realidade aumentada com 3D, e alta performance para estruturas de todos os portes, faz análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial e possui diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos, como lajes, vigas e pilares. A estrutura da edificação é definida através de pavimento, representando os níveis no projeto arquitetônico.

A figura 3 apresenta a planta baixa do projeto após o lançamento das cargas na estrutura, de acordo com a ABNT NBR 6120 (2019), Ações para cálculo de estruturas de edificações, e dimensionamento dos elementos de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014).

Figura 3 – Croqui da viga baldrame



Fonte: autor (2022).

Na configuração de materiais e durabilidade, podem ser escolhidas as possíveis bitolas para as barras de armadura, que serão consideradas pelo programa no dimensionamento. Ao calcular a armadura, o *software* faz o dimensionamento para cada uma das bitolas, escolhe

entre elas a solução mais adequada e exibe para o usuário na forma de opções nas janelas de dimensionamento.

Para a obtenção dos resultados apresentados na tabela 2, foram utilizados os seguintes dados de concreto:

- Resistência característica à compressão do concreto = 300 kgf/cm².
- Módulo de elasticidade secante do concreto = 268384 kgf/cm².
- Peso específico do concreto = 2500 kgf/cm².
- Cobrimento (classe de agressividade ambiental II) = 3 cm.

Tabela 2 – Dimensionamento da armadura positiva com aço da viga 1

Vão Trechos	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Final
1 1-1	retangular bw= 15,00 cm h= 25,00 cm	Md= 471 kgf.m As= 0,52 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 0,83 cm	Fd= 0,10 tf situação: GE Meq= 9kgf.m As= 0,46 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 0,77 cm	As= 0,56 cm ² (2ø8,0 – 1,01 cm ²) d= 21,10 cm F=0,00 tf M= 283 kfm.m fiss= 0,03 mm
2 2-2	retangular bw= 15,00 cm h= 25,00 cm	Md= 471 kgf.m AS= 0,52 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 0,83 cm	Fd= 0,07 tf situação: GE Meq= 6kgf.m As= 0,32 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 0,53 cm	As= 0,56 cm ² (2ø8,0 – 1,01 cm ²) d= 21,10 cm F=0,00 tf M= 158 kfm.m fiss= 0,01 mm

Fonte: autor (2022).

Erros de dimensionamento podem acontecer por motivos de lançamentos incorretos, condições insuficientes, para resistir aos esforços ou impossibilidade de cálculo, e por causa de lançamento que não é considerado pelo programa.

Os erros de armaduras podem acontecer quando há algum impedimento para a escolha das bitolas, como espaçamento insuficiente, taxa de armadura superior ao configurado e posição do centro de gravidade alta.

Ao usar o comando para executar os cálculos da estrutura, o programa abre uma janela de mensagens, mostrando se existe algum erro de dimensionamento encontrado para o

elemento selecionado. No caso de haver erros das armaduras configuradas, serão listados os erros para cada armadura. Para resolver, basta dar um clique duplo sobre a linha que indica o erro, então abrirá uma janela de ajuda para resolver o problema.

A tabela 3 apresenta os resultados do dimensionamento da armadura negativa com aço no Eberick (versão demonstrativa), tendo como base os mesmos dados de concreto citados na tabela 2, utilizados no dimensionamento da armadura positiva.

Tabela 3 – Dimensionamento da armadura negativa com aço da viga 1

Nó	Flexão	Verificação axial (compressão)	Final
1	Md= 683 kgf.m As= 0,77 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 1,44 cm	Fd= 0,10 tf situação: GE Meq= 9 kgf.m As= 0,75 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 1,24 cm	As= 0.77 cm ² (2ø8.0 - 1.01 cm) d= 21,10 cm % armad = 0,27 F= 0,00 tf M= 325 kfm.m fiss= 0.04 mm
2	Md= 802 kgf.m As= 0,91 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 1,22 cm	Fd= 0,10 tf situação: GE Meq= 9 kgf.m As= 0,89 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 1,46 cm	As= 0.91 cm ² (2ø8.0 - 1.01 cm) d= 21,10 cm % armad = 0,27 F= 0,00 tf M= 408 kfm.m fiss= 0.06 mm
3	Md= 555 kgf.m As= 0,62 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 0,99 cm	Fd= 0,07 tf situação: GE Meq= 6 kgf.m As= 0,61 cm ² A's= 0,00 cm ² yLN= 1,00 cm	As= 0.62 cm ² (2ø8.0 - 1.01 cm) d= 21,10 cm % armad = 0,27 F= 0,00 tf M= 210 kfm.m fiss= 0.02 mm

Fonte: Autor (2022).

A verificação axial é feita somente para vigas que possuem carga de paredes lançadas, que ficam destacadas no diagrama ao abrir a verificação específica na barra de ferramentas. É apresentado também o valor da rotação da viga, considerando o efeito após a construção das paredes.

3.2 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL DA VIGA COM PRFV

Para o dimensionamento da estrutura armada em PRFV, foram realizados os cálculos manualmente, seguindo as instruções da norma norte americana ACI 440.1R-15. Foram utilizados os métodos apresentados na ABNT NBR 6118 (2014), apenas substituindo os parâmetros referentes às propriedades físicas do aço para o PRFV, (MATIAS; ROMANICHEN, 2020).

Para encontrar o coeficiente que mede a intensidade do momento fletor solicitante externo de cálculo (k), inicialmente deve-se realizar o cálculo da resistência à compressão do concreto (F_c). Essa etapa de cálculo (Equação 1 e Equação 2) segue as instruções da apostila de concreto armado do professor Ney Amorim Silva (2018).

$$\text{Equação 1 - } F_c = 0,85 \times \frac{F_{ck}}{1,4}$$

$$\text{Equação 2 - } K = \frac{M_d}{F_c \times b_w \times d^2}$$

M_d = momento fletor de cálculo

b_w = base da secção

d = altura útil da viga

d' = distância do eixo da armadura de tração até a fibra mais comprimida da secção do concreto

K = coeficiente adimensional da intensidade do momento fletor devido à compressão do concreto

$$K_{lim} = 0,295$$

$$K \leq K_{lim} \rightarrow K' = K$$

$$K > K_{lim} \rightarrow K' = K_{lim}$$

A equação 3 apresenta a fórmula para a obtenção da tensão normal, que leva em consideração os fatores de redução ambiental fornecidos na tabela 4 e a resistência à tração apresentada na equação 4. Essa etapa de cálculo (equação 3 e equação 4) segue as instruções do Guia Técnico do Instituto Americano do Concreto.

Para encontrar a área de fibra de vidro (A_{fv}), foram seguidos os procedimentos para encontrar a área de aço disponíveis na apostila de concreto armado do professor Ney Amorim Silva (2018), substituindo o valor característico da resistência de escoamento do aço pela tensão normal de PRF (FFU).

Para o cálculo da armadura parcial de tração na viga, usa-se a equação 5.

$$\text{Equação 5 - } A_{fv1} = \frac{F_c \times b \times d}{FFU} \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times K'})$$

Para as situações em que o coeficiente K calculado é maior que o limite (KL), é necessário o uso de armação dupla e se deve calcular a armadura parcial de tração e compressão apresentada na equação 6.

$$\text{Equação 6 - } A_{fv2} = \frac{F_c \times b \times d}{FFU} \times \frac{(K - K')}{(1 - \frac{d}{d'})}$$

Desse modo, para calcular a armadura final de tração quando se tem $K > KL$, deve-se usar a equação 7.

$$\text{Equação 7 - } A_{fv} = A_{fv1} + A_{fv2}$$

Para o cálculo da armadura de compressão, situada na parte superior da viga, será utilizada a equação 8.

$$\text{Equação 8 - } A'_{fv} = \frac{A_{fv2}}{\varphi}$$

Em que:

φ = é o nível de tensão da armadura comprimida

3.2.1 Dimensionamento da armadura longitudinal positiva com PRFV

Vão 1 e vão 2

$$F_c = 0,85 \times \frac{3,0}{1,4} = 1,82 \text{ kn/cm}^2$$

$$f_{fu} = 1219 - 3 \times 6,139 = 1200,58 \text{ Mpa}$$

$$FFU = 0,8 \times 1200,58 = 960,46 \text{ Mpa} = 96,05 \text{ kn/cm}^2$$

$$K = \frac{4,62 \times 100}{1,82 \times 15 \times 21,10^2} = 0,038$$

$$A_{fv1} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,038}\right) = 0,23 \text{ cm}^2$$

$$A_{fv2} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \frac{(0,038 - 0,038)}{\left(1 - \frac{3,9}{21,10}\right)} = 0$$

$$A_{fv} = 0,23 + 0 = 0,23 \text{ cm}^2$$

$$A'_{fv} = 0$$

Ao analisar o resultado obtido, percebe-se que o PRFV possui melhor resistência à tração em comparação com o aço, uma vez que, para resistir ao mesmo momento solicitante na armadura longitudinal positiva, foi necessário apenas 44,2% da área de aço utilizado. Isso corrobora com os cálculos realizados por Matias e Romanichen (2020), em que o PRFV chega a ser 33,80% menor do que a área de aço calculada. Segundo Santos, Almeida e Cruz (2022), o PRFV não apresenta grandes diferenças em relação ao aço quando aplicado no concreto, afirmando que o vergalhão de fibra de vidro resiste aos esforços similarmente ao aço, isso porque, ao analisar um estudo em que foi feito um ensaio de arrancamento direto em nove corpos de prova com três materiais diferentes, sendo o vergalhão de fibra de carbono, fibra de vidro e aço, com o objetivo de verificar o comportamento de ligações desses materiais ao concreto, nota-se que tanto o PRFV quanto o aço possuíam valores de tensão de aderência similares, sendo 10,61 MPa e 10,47 MPa respectivamente (SANTOS; ALMEIDA; CRUZ, 2022). O cálculo inicial sugere exatamente o oposto, pois, para resistir ao mesmo esforço, o PRFV ocupou menos do que a metade da área de aço.

3.2.2 Dimensionamento da armadura longitudinal negativa com PRFV



Nó 1

$$Md = 683 \text{ kgf. m} = 6,697 \text{ kn. m}$$

$$FFU = 96,05 \text{ kn/cm}^2$$

$$K = \frac{6,697 \times 100}{1,82 \times 15 \times 21,10^2} = 0,055$$

$$K < K_{lim}, \text{ logo } K' = K$$

$$A_{fv1} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,055}\right) = 0,34 \text{ cm}^2$$

$$A_{fv2} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \frac{(0,055 - 0,055)}{\left(1 - \frac{3,9}{21,10}\right)} = 0$$

$$A_{fv} = 0,34 + 0 = 0,34 \text{ cm}^2$$

$$A'_{fv} = 0$$

Nó 2

$$Md = 802 \text{ kgf. m} = 7,82 \text{ kn. m}$$

$$FFU = 96,05 \text{ kn/cm}^2$$

$$K = \frac{7,82 \times 100}{1,82 \times 15 \times 21,10^2} = 0,06$$

$$K < K_{lim}, \text{ logo } K' = K$$

$$A_{fv1} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,06}\right) = 0,37 \text{ cm}^2$$

$$A_{fv2} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \frac{(0,06 - 0,06)}{\left(1 - \frac{3,9}{21,10}\right)} = 0$$

$$A_{fv} = 0,37 + 0 = 0,37 \text{ cm}^2$$

$$A'_{fv} = 0$$

Nó 3

$$M_d = 555 \text{ kgf. m} = 5,44 \text{ kn. m}$$

$$FFU = 96,05 \text{ kn/cm}^2$$

$$K = \frac{5,44 \times 100}{1,82 \times 15 \times 21,10^2} = 0,04$$

$$K < K_{lim}, \text{ logo } K' = K$$

$$A_{fv1} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,04}) = 0,24 \text{ cm}^2$$

$$A_{fv2} = \frac{1,82 \times 15 \times 21,10}{96,05} \times \frac{(0,04 - 0,04)}{(1 - \frac{3,9}{21,10})} = 0$$

$$A_{fv} = 0,24 + 0 = 0,24 \text{ cm}^2$$

$$A'_{fv} = 0$$

Analisando os resultados obtidos no dimensionamento da armadura longitudinal negativa, percebe-se que, assim como no dimensionamento da armadura longitudinal positiva, o PRFV possui uma vantagem significativa em comparação ao aço. Isso se deve ao elevado valor da tensão normal solicitante de cálculo (σ_{sd}), que nesse caso é o valor da resistência à tração de projeto (FFU). Segundo Aci (2015), a equação da resistência à tração de projeto fornece propriedades de tração que deverá ser usada em todos os cálculos do projeto. A desvantagem fica por conta dos valores de redução ambiental, fornecidos na tabela 4, pois não podem ser usados em situações em que a temperatura é superior à da resina utilizada para a sua fabricação.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, o fato de ainda não existir uma norma brasileira para o dimensionamento desse material é uma grande desvantagem, havendo apenas o Guia Técnico do Instituto Americano do Concreto (ACI 440-1R, 2015), em que o mesmo afirma ser necessário mais estudos para o dimensionamento desse material. Outro quesito é a impossibilidade de fazer dobras com o material, o que impede a realização do dimensionamento da armadura transversal, uma vez que PRFV é um material que não se deforma plasticamente e, ao passar do seu limite de resistência, rompe-se catastróficamente sem avisar.

O PRFV tem mostrado ser um material muito promissor, dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar, com cálculos e comparações de resultados obtidos, a viabilidade de uma possível troca do aço. No desenvolvimento dos cálculos, é possível conhecer todas as aplicações necessárias para a implementação desse novo material, o que não é acessível somente com fundamentação teórica. Algumas informações serão bastante importantes a serem abordadas em futuros trabalhos sobre esse tema, como previsão de vida útil de PRFV, quando submetido à ambientes agressivos, e estudo sobre a perda de resistência à tração de PRFV com o aumento da temperatura. O PRFV é uma novidade ainda no Brasil, porém, considerando sua utilização em outros países, em breve será um produto indispensável na construção civil.

A figura 5 apresenta os resultados obtidos no dimensionamento da viga tanto com o aço como também com PRFV.

Figura 5 – Comparativo dos resultados obtidos

Armadura	Posição	Área de aço	Área de fibra de vidro
Positiva	Vão 1 e Vão 2	As= 0,52 cm ²	Afv= 0,23 cm ²
		A's= 0 cm ²	A'fv= 0 cm ²
		2ø8.0	2ø5.0
Negativa	Nó 1	As= 0,77 cm ²	Afv= 0,34 cm ²
		A's= 0 cm ²	A'fv= 0 cm ²
		2ø8.0	2ø5.0
	Nó 2	As= 0,91 cm ²	Afv= 0,37 cm ²
		A's= 0 cm ²	A'fv= 0 cm ²
		2ø8.0	2ø5.0
	Nó 3	As= 0,62 cm ²	Afv= 0,24 cm ²
		A's= 0 cm ²	A'fv= 0 cm ²
		2ø8.0	2ø5.0

Fonte: autor (2022).

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados e considerações apresentadas, pode-se concluir que os polímeros reforçados com fibra de vidro possuem vantagens em comparação ao aço, para resistir a esforços nas vigas e corrosão em meios agressivos.

Os polímeros reforçados com fibra de vidro mostraram ser mais resistentes à ruptura do que o aço, porém serão necessários estudos mais detalhados, pois demonstram ser

materiais frágeis. Apesar de possuir uma resistência à tração superior comparado ao aço, não apresentam deformações plásticas e possuem menor módulo de elasticidade.

Apesar das vantagens que os polímeros reforçados com fibra de vidro apresentam, o Brasil não possui normas técnicas para o seu dimensionamento e fabricação, sendo necessário recorrer a normas americanas, como a ACI 440.1R-15, o que dificulta a sua aplicação em território nacional.

Este trabalho demonstra que é possível uma futura substituição do aço por fibra na armação das vigas, porém serão necessários outros trabalhos para complementar a sua aplicação, como o dimensionamento para pilares e lajes.

Ao realizar este trabalho, pude ampliar os meus conhecimentos acerca de cálculo estrutural e analisar o comportamento das estruturas submetidas a esforços, com o intuito de verificar a resistência adequada, e tudo isso foi possível por meio dos conteúdos aprendidos na sala de aula e o auxílio do meu orientador.

REFERÊNCIAS

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**. Ações para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: Abnt, 2019. 61p.

ARAÚJO, M. L. **Estudo experimental da aderência entre o concreto e barras de aço, de compósito de fibras de vidro e de compósito de fibras de carbono**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <<http://virologia.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2021/09/ESTUDO-EXPERIMENTAL-DA-ADR%C3%A2NCIA-ENTRE-O-CONCRETO-E-BARRAS-DE-ACAO-DE-COMPOSITOS-DE-FIBRA-DE-VIDRO-E-COMPOSITOS-DE-FIBRAS-DECARBONO.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BENMOKRANE, B.; ALI, A. H.; MOHAMED, H. M.; ELSAFTY, A.; MANALO, A. Laboratory assessment and durability performance of vinyl-ester, polyester, and epoxy. GlassFRP bars for concrete structures. **Composites Part B - Engineering**, v. 114, 4 p. 2017. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Laboratory-assessment-anddurability-performance-of-Benmokrane-Ali/7f2a818bbca3b02183a7cf46b8862a959de51889>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BERTON, K. M. **Investigação teórico-experimental de vigas armadas com barras de polímero reforçado com fibra de vidro (prfv) submetidas à flexão**. 2019. 62 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23480/Berton_Kauana_Moraes_2019_TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 ago. 2022.

BIRON, M. **Thermoplastics and Thermoplastic Composites**. 3. ed. EUA: Elsevier, 2018.

Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=XRNfDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=.+Thermoplastics+and+Thermoplastic+Composites&ots=cneAtNXaPJ&sig=mq2Qn7Puyk7XkVxb4htCrXdleiA#v=onepage&q=.%20Thermoplastics%20and%20Thermoplastic%20Composites&f=false>>.

Acesso em: 10 out. 2022.

MATIAS, P. H. P.; ROMANICHEN, R. M. Comparativo entre o uso de barras de aço e barras de polímero reforçado com fibra de vidro em estruturas de concreto armado. **Órgão de Divulgação Científica Multidisciplinar da Uningá**, n. 6114, p. 166-184, 2017, Maringá.

Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20210401060915id_/https://uninga.br/wpcontent/uploads/2021/03/4%20-%20Editora%C3%A7%C3%A3o%20-%20ebook%20com%20a%20ficha%20catalogr%C3%A1fica.pdf?t=1617036323#page=166>.

Acesso em: 26 ago. 2022.

MODOS, A. B.; PEREIRA NETO, A.; DAVANTEL, E. M. M.; MACHADO, H. H. S.; VALDERRAMA, B. V. B.; OLIVEIRA, J. C. D. **Otimização do projeto arquitetônico CF40G1 executado pela Cohapar pelo programa de aceleração do crescimento – PAC**.

In: X EPCC – ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 2017,

Maringá. Disponível: <<http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/1250>>. Acesso em: 4 set. 2022.

MOURA, R. C. A. **Análise da durabilidade de armaduras poliméricas reforçadas com fibra de vidro submetidas ao ambiente alcalino e a elevadas temperaturas**. 2021. 176 f.

Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/34934/1/Tese_Doutorado_Ruan_Moura_PPEC_Final.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

POLETTO, M. Compósitos termoplásticos com madeira – uma breve revisão. **Revista interdisciplinar de ciência aplicada**, v. 2, n. 4, 2017. Disponível em:

<<https://sou.ucs.br/revistas/index.php/ricaucs/article/view/46>>. Acesso em: 20 out. 2022.

SANTOS, D. B. F.; ALMEIDA, I. G. S.; CRRUZ, C. P. T. **Estudo comparativo entre os vergalhões de aço e polímero reforçado com fibra de vidro**. 2022. 16 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Potiguar. Disponível em:

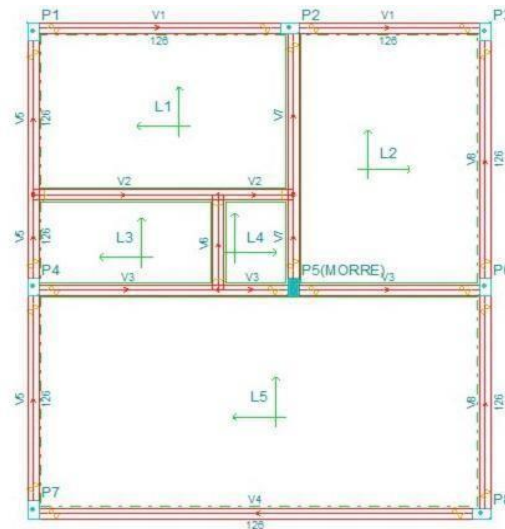
<<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/24880/1/TCCDiego%20e%20Gabriel.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SILVA, N. A. **Concreto armado I**. Minas Gerais: UFMG, 2018. Disponível: <https://www.academia.edu/42286480/APOSTILA_DE_CONCRETO_ARMADO_UNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_MINAS_GERAIS_2018>. Acesso em: 20 out. 2022.

STRATUS, F. R. P. **Catálogo de produtos** – Stratus (catálogo). São José dos Campos, São Paulo. 2022. Disponível: <<https://www.stratusfrp.com/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

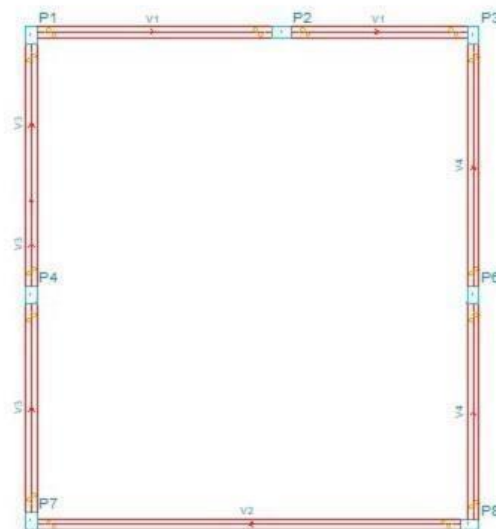
**APÊNDICE A – RESTANTE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO EBERICK
(VERSÃO DEMONSTRATIVA), DURANTE O DIMENSIONAMENTO DO AÇO**

Figura 6 – Croqui da cobertura



Fonte: autor (2022).

Figura 7 – Croqui da platibanda



Fonte: autor (2022).

Modelo de cálculo	I
Inclinação bielas	45

Fonte: autor (2022).

Tabela 5 – Verificação de esforços limites

Vão trechos	Cisalhamento	Torção	Cisalhamento + Torção
1 1-1	Vd = 1.18 tf VRd2 = 16.11 tf	Td = 5 kgf.m TRd2 = 547 kgf.m	$Vd/VRd2 + Td/TRd2 = 0.08$
2 2-2	Vd = 0.98 tf VRd2 = 16.11 tf	Td = 8 kgf.m TRd2 = 547 kgf.m	$Vd/VRd2 + Td/TRd2 = 0.07$

Fonte: autor (2022).

Vão trechos	ARMADURA DE CISALHAMENTO				ARMADURA DE TORÇÃO	
	Dados cisalham	Armadura à esquerda	Armadura mínima	Armadura à direita	Dados torção	Armadura de torção
1 1-1	d = 21.10 cm Vc0 = 2.75 tf k = 1.01		Vmin = 2.84 tf Aswmin = 1.74 cm ² (2 ramos) ø 5.0 c/ 12			
2 2-2	d = 21.10 cm Vc0 = 2.75 tf k = 1.01		Vmin = 2.84 tf Aswmin = 1.74 cm ² (2 ramos) ø 5.0 c/ 12			

Fonte: autor (2022).

RESUMO DE MATERIAIS (MOLDADOS *IN LOCO*)**Tabela 6** – Resumo por elemento e pavimento

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m ³)	Área de forma (m ²)	Consumo de aço (kg/m ³)	Peso treliças (kg)
Platibanda	Vigas	74.1	0.7	13.2	103.1	0.0
	Pilares	32.9	0.3	5.6	125.3	0.0
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	106.9	1.0	18.8	109.0	0.0
Cobertura	Vigas	125.9	1.4	19.4	88.7	0.0
	Pilares	116.4	0.9	19.2	129.4	0.0
	Lajes	211.3	3.7	37.2	56.8	0.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	453.6	6.0	75.8	75.1	0.0
Térreo	Vigas	113.4	1.4	24.6	80.0	0.0
	Pilares	60.4	0.3	7.4	175.0	0.0
	Lajes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fundações	40.3	1.3	5.1	30.7	0.0
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	214.0	3.1	37.1	69.6	0.0

Fonte: autor (2022).

Tabela 7 – Resumo por bitola e elemento

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
CA50	6.3	0.0	0.0	41.5	0.0	0.0	0.0	0.0	41.5
CA50	8.0	176.5	0.0	6.9	0.0	40.3	0.0	0.0	223.7
CA50	10.0	26.4	162.9	29.3	0.0	0.0	0.0	0.0	218.6
CA50	12.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
CA60	5.0	106.2	46.8	62.2	0.0	0.0	0.0	0.0	215.2
CA60	6.0	0.0	0.0	28.3	0.0	0.0	0.0	0.0	28.3
CA60	7.0	0.0	0.0	43.2	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2

Fonte: autor (2022).

Tabela 8 – Resumo por material e elemento

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	207.1	162.9	77.7	0.0	40.3	0.0	0.0	487.9
	CA60	106.2	46.8	133.6	0.0	0.0	0.0	0.0	286.6
	Total	313.3	209.7	211.3	0.0	40.3	0.0	0.0	774.5
Volume concreto (m ³)	C-30	3.6	1.5	3.7	0.0	1.3	0.0	0.0	10.1
Área de forma (m ²)		57.3	32.2	37.2	0.0	5.1	0.0	0.0	131.7
Consumo de aço (kg/m ³)		88.1	139.1	56.8	0.0	30.7	0.0	0.0	76.7

Fonte: autor (2022).

RESUMO DE CUSTOS (R\$)**Tabela 9 – Resumo por elemento e pavimento**

Pavimento	Elemento	Aço	Concreto	Forma	Laje pré- fabricada	Bloco de enchimento	Total
Platibanda	Vigas	655.48	282.10	1351.89	0.00	0.00	2289.48
	Vigas PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pilares	255.20	103.07	729.79	0.00	0.00	1088.06
	Pilares PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Lajes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Escadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fundações	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Reservatórios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Muros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	910.68	385.17	2081.69	0.00	0.00	3377.54
Cobertura	Vigas	1095.32	556.92	1996.15	0.00	0.00	3648.40
	Vigas PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pilares	902.31	353.37	2502.14	0.00	0.00	3757.82
	Pilares PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Lajes	1827.56	1460.58	4382.16	0.00	0.00	7670.30

	Escadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fundações	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Reservatórios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Muros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	3825.18	2370.87	8880.46	0.00	0.00	15076.51
Térreo	Vigas	992.56	556.92	2528.29	0.00	0.00	4077.77
	Vigas PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pilares	468.28	135.46	959.16	0.00	0.00	1562.89
	Pilares PM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Lajes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Escadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fundações	379.23	515.25	734.00	0.00	0.00	1628.47
	Reservatórios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Muros	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	1840.06	1207.63	4221.45	0.00	0.00	7269.13
Custo total do projeto							25723.19

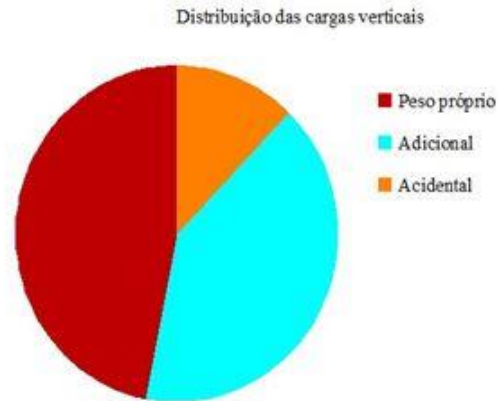
Fonte: autor (2022).

DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA

Tabela 10 – Distribuição das cargas verticais

Ação	Carregamentos (tf)	Percentual (%)
Peso próprio	23.55	46.9
Adicional	20.54	40.9
Acidental	6.17	12.3
TOTAL	50.26	100.0

Fonte: autor (2022).



Fonte: autor (2022).

Tabela 11 - Relação de carga por área

Pavimento	Carregamentos (tf)	Área (m²)	Carga/área (kgf/m²)
Platibanda	2.52	-	-
Cobertura	29.76	41.10	724.00
Térreo	17.99	-	-
TOTAL	50.26	41.10	1222.91

Fonte: autor (2022).

Tabela 12 – Estabilidade global

Parâmetro	
Gama-Z	1.04 (lim 1.10)

Fonte: autor (2022).

Aviso: Os deslocamentos horizontais não foram verificados.

Tabela 13 – Processo P-Delta-Deslocamento no topo da edificação

Carregamento	Inicial	Final	Variação
Acidental	0.01	0.01	0.92%
Vento X+	0.67	0.70	4.80%
Vento X-	0.67	0.70	4.80%
Vento Y+	0.40	0.41	3.42%
Vento Y-	0.40	0.41	3.42%
Desaprumo X+	0.05	0.05	4.85%
Desaprumo X-	0.05	0.05	4.85%
Desaprumo Y+	0.04	0.04	3.44%
Desaprumo Y-	0.04	0.04	3.44%

Fonte: autor (2022).

Tabela 14 – Índices de consumo de materias

Elemento	Consumo por área			Consumo por volume de concreto	
	Concreto (m³/m²)	Forma (m²/m²)	Aço (kg/m²)	Forma (m²/m³)	Aço (kg/m³)
Vigas	0.09	1.39	7.62	16.10	88.13
Pilares	0.04	0.78	5.10	21.33	139.09
Lajes	0.09	0.91	5.14	10.00	56.79
Fundações	0.03	0.12	0.98	3.91	30.68
TOTAL	0.25	3.21	18.85	13.05	76.72

Fonte: autor (2022).

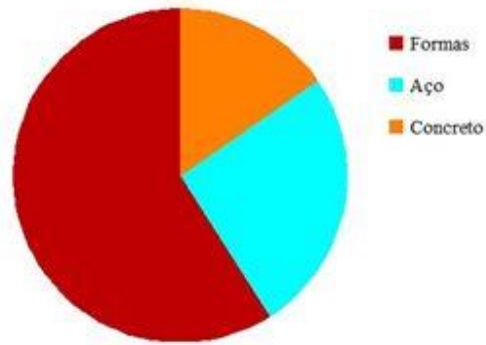
Espessura média do projeto 24.6 cm.

Tabela 15 – Resumo de custos

Relação custo por material (R\$)			
Elemento	Material	Execução	Total
Aço	3799.84	2776.09	6575.93
Concreto	2636.15	1327.52	3963.67
Formas	6338.68	8844.91	15183.59
TOTAL	12774.67	12948.51	25723.19

Fonte: autor (2022).

Distribuição do custo por origem



Fonte: autor (2022).

Relação custo por área (R\$/m²)			
Pavimento	Material	Execução	Total
Cobertura	177.31	189.52	366.83
TOTAL	310.82	315.05	625.87

Fonte: autor (2022).

Relação custo por elemento (R\$)				
Elemento	Material	Execução	Total	Média
Vigas	5227.66	4787.99	10015.65	500.78
Pilares	3044.20	3364.56	6408.77	278.64
Lajes	3581.87	4088.43	7670.30	1534.06
Fundações	920.94	707.53	1628.47	203.56
TOTAL	12774.67	12948.51	25723.19	459.34

Fonte: autor (2022).



Fonte: autor (2022).

Tabela 16 – Dimensionamento dos elementos

Elementos de concreto				
Pavimento	Elementos	Com sucesso	Com avisos	Com erros
platibanda	Vigas	0	4	0
	Pilares	4	3	0
cobertura	Vigas	0	8	0
	Lajes	0	5	0
	Pilares	6	2	0
térreo	Vigas	0	8	0
	Sapatas	8	0	0
	Pilares	4	4	0

Fonte: autor (2022).

Os deslocamentos do pórtico e das lajes não foram verificados

RESULTADOS DA ANÁLISE ESTÁTICA LINEAR

Cargas verticais:

Peso próprio = 23.55 tf

Adicional = 20.54 tf

Acidental = 6.17 tf

Total = 50.26 tf

Área aproximada = 41.10 m²

Relação = 1222.91 kgf/m²

Deslocamento horizontal:

X+ = 0.00 cm (limite 0.32)

X- = 0.00 cm (limite 0.32)

Y+ = 0.00 cm (limite 0.32)

Y- = 0.00 cm (limite 0.32)

Aviso: Os deslocamentos horizontais não foram verificados**Verificação de estabilidade (Gama-Z):**

X+ = 1.04 (limite 1.10)

X- = 1.04 (limite 1.10)

Y+ = 1.03 (limite 1.10)

Y- = 1.03 (limite 1.10)

Análise de 2ª ordem:

Processo P-Delta

Deslocamentos no topo da edificação:

Acidental: 0.01 »» 0.01 (+0.92%)

Vento X+: 0.67 »» 0.70 (+4.80%)

Vento X-: 0.67 »» 0.70 (+4.80%)

Vento Y+: 0.40 »» 0.41 (+3.42%)

Vento Y-: 0.40 »» 0.41 (+3.42%)

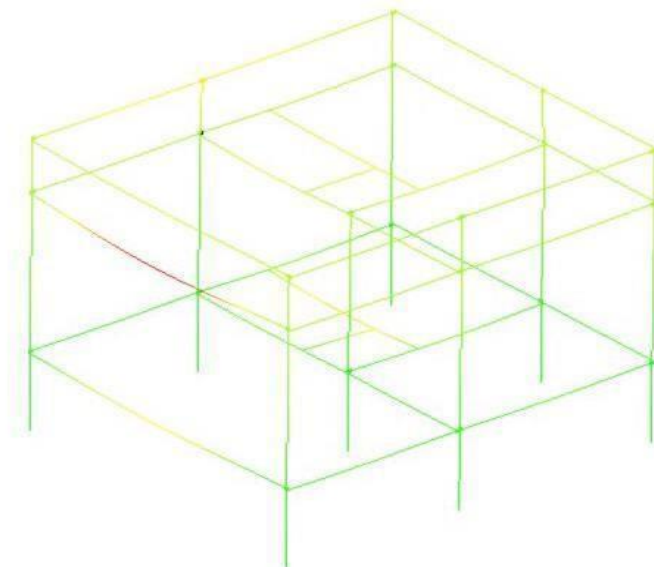
Desaprumo X+: 0.05 »» 0.05 (+4.85%)

Desaprumo X-: 0.05 »» 0.05 (+4.85%)

Desaprumo Y+: 0.04 »» 0.04 (+3.44%)

Desaprumo Y-: 0.04 »» 0.04 (+3.44%)

Figura 8 – Pórtico unifilar



Fonte: autor (2022).

RESULTADOS DA LAJE

Cobertura	fck = 300.00 kgf/cm ²	E = 268384 kgf/cm ²	Peso Espec = 2500.00 kgf/m ³
Lance 2		coibr = 2.50 cm	

Nome	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy
L1	10	502.50	369	274	As = 1.01 cm ² /m (ø5.0 c/19 - 1.03 cm ² /m)	As = 1.01 cm ² /m (ø5.0 c/19 - 1.03 cm ² /m)
L2	10	502.50	204	371	As = 1.01 cm ² /m (ø5.0 c/19 - 1.03 cm ² /m)	As = 1.08 cm ² /m (ø5.0 c/18 - 1.09 cm ² /m)
L3	10	502.50	211	797	As = 1.01 cm ² /m (ø5.0 c/19 - 1.03 cm ² /m)	As = 2.89 cm ² /m (ø6.3 c/10 - 3.12 cm ² /m)
L4	10	502.50	928	450	As = 3.18 cm ² /m (ø8.0 c/15 - 3.35 cm ² /m)	As = 1.70 cm ² /m (ø8.0 c/20 - 2.51 cm ² /m)
L5	10	502.50	475	570	As = 1.56 cm ² /m (ø6.3 c/19 - 1.64 cm ² /m)	As = 1.73 cm ² /m (ø6.0 c/16 - 1.77 cm ² /m)

Fonte: autor (2022).

ARMADURA NEGATIVA							
Dados				Resultados			
Viga	Trecho	Laje 1	Laje 2	Reação 1 (kgf/m)	Reação 2 (kgf/m)	Md (kgf.m/m)	As (cm ²)
V7	2	L1	L2	538	469	-653	As = 1.82 cm ² /m (ø7.0 c/20 - 1.92 cm ² /m)
V2	1	L1	L3	289	-77	-11	As = 1.65 cm ² /m (ø6.3 c/18 - 1.73 cm ² /m)

V2	2	L1	L4	96	-710	0	
V7	1	L2	L4	513	1392	-1485	As = 5.37 cm ² /m (ø10.0 c/14 - 5.61 cm ² /m)
V3	3	L2	L5	552	773	-1629	As = 4.83 cm ² /m (ø7.0 c/7 - 5.50 cm ² /m)
V3	1	L3	L5	868	661	-907	As = 2.56 cm ² /m (ø7.0 c/15 - 2.57 cm ² /m)
V6	1	L3	L4	-351	-1213	0	
V3	2	L4	L5	1205	1580	-1880	As = 7.02 cm ² /m (ø10.0 c/11 - 7.14 cm ² /m)

Fonte: autor (2022).

RESULTADOS DOS PILARES

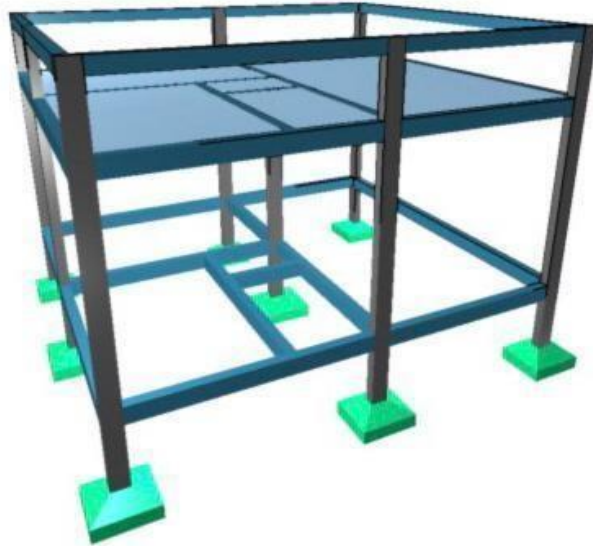
Pavimento superior	fck = 300.00 kgf/cm ²	E = 268384 kgf/cm ²	Peso Espec = 2500.00 kgf/m ³
Lance 2		cobr = 3.00 cm	

Dados				Resultados					
Pilar	Seção (cm)	Nível Altura (cm)	lib vínc lih vínc (cm)	Nd máx Nd mín (tf)	MBd topo MBd base (kgf.m)	MHd topo MHd base (kgf.m)	As b Armaduras As h % armad total	Estribo Topo Base cota	Esb b Esb h
P1 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	3.69	482 452	706 721	1.57 2 ø 10.0	ø 5.0 c/12	69.20
	X		300.00 RR	1.97			1.57 2 ø 10.0		
	25.00		300.00 RR					0.8 4 ø 10.0	25
P2 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	5.54	780 601	916 858	1.57 2 ø 10.0	ø 5.0 c/12	69.20
	X		300.00 RR	3.00			2.36 3 ø 10.0		
	25.00		300.00 RR					1.3 6 ø 10.0	25

P3 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	3.06	414 400	637 605	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X		300.00 RR	1.44			1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	
	25.00						0.8 4 ϕ 10.0	25	
P4 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	6.26	961 710	509 609	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X		300.00 RR	3.42			2.36 3 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	
	25.00						1.3 6 ϕ 10.0	25	
P5 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	11.55	716 608	1035 850	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X		300.00 RR	6.05			2.36 3 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	
	25.00						1.3 6 ϕ 10.0	25	
P6 1:20	15.00	300.00	300.00 RR	4.70	599	518	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X	300.00		2.51	502	533		ϕ 5.0 c/12	
	25.00		300.00 RR				1.57 2 ϕ 10.0		
P7 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	4.79	824 744	473 508	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X		300.00 RR	2.62			2.36 3 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	
	25.00						1.3 6 ϕ 10.0	25	
P8 1:20	15.00	300.00 300.00	300.00 RR	4.82	326 358	1284 1068	1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	69.20 41.52
	X		300.00 RR	2.65			1.57 2 ϕ 10.0	ϕ 5.0 c/12	
	25.00						0.8 4 ϕ 10.0	25	

Fonte: autor (2022).

Figura 9 – Pórtico 3D



Fonte: autor (2022).