

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

EULER AGUIAR DE JESUS

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO:

elaboração de uma residência unifamiliar de dois pavimentos

Paracatu

2019

EULER AGUIAR DE JESUS

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO: elaboração de uma
residência unifamiliar de dois pavimentos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: Profa. Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares.

Paracatu

2019

EULER AGUIAR DE JESUS

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO: elaboração de uma
residência unifamiliar de dois pavimentos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: Profa. Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares

Banca Examinadora:

Paracatu-MG, 25 de novembro de 2019.

Profa. Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Willian Soares Damasceno
Centro Universitário Atenas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela minha família e por todas as obras que Ele realizou, realiza e realizará em minha vida. Por me dá consciência de que sem luta não se vence a guerra.

À minha Orientadora, que ao mesmo tempo foi: professora, amiga e sobre tudo Orientadora. Sei que 100% desse trabalho devo a você: Obrigado Professora. Msc. Hellen Conceição, pelo seu exemplo de vida e dedicação.

À minha esposa e filhos, por estarem comigo nos momentos de grande luta.

Porque tem receio de emitir uma afirmação que não possa provar, enquanto os opositores criam factoides e parecem saber mais, ainda que estejam mentindo. O engenheiro não mente.

Francisco Luiz Sibut Gomide.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um projeto em concreto armado de um edifício residencial unifamiliar de dois andares acatando o que foi estabelecido pela norma NBR 6118:2014. A princípio será descrito os conceitos dos conteúdos que norteiam um projeto de concreto armado, ou seja, os pré-requisitos como diagramas-tensão e módulo de elasticidade, estados limites últimos, ações, cobrimento, durabilidade da estrutura e o conceito de concreto armado. O objetivo do trabalho é dimensionar e detalhar a estrutura em questão, bem como, comentar os elementos que deverão sofrer destaque devido ao enorme grau de criticidade que ele requer. Após, será sugerido de acordo com a norma, o correto dimensionamento dos elementos construtivos, comparando o que foi aprendido e desenvolvido em sala de aula ao programa computacional CAD/TQS - destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e de alvenaria estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Estruturas. CAD/TQS. Dimensionamento.

ABSTRACT

The present work presents a reinforced concrete project of a two-story single-family residential building in compliance with the ABNT NBR 6118: 2014 standard. At first the concepts of the contents that guide a reinforced concrete project will be described, that is, the prerequisites such as tension diagrams and elastic modulus, ultimate limit states, actions, covering, structure durability and the concept of reinforced concrete. The objective of the work is to size and detail the structure in question, as well as comment on the elements that should be highlighted due to the enormous degree of criticality that it requires. After, it will be suggested according to the norm, the correct dimensioning of the building elements, comparing what was learned and developed in the classroom to the CAD / TQS computer program - for the elaboration of reinforced concrete, prestressed and masonry structures projects. structural.

Keywords: Concrete. Structures. CAD / TQS. Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Módulo de Elasticidade ou Deformação Longitudinal	22
Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto	23
Figura 3 – Resistência do concreto em meses	25
Figura 4 - Vãos da Viga V2	31
Figura 5 - Dimensões no cálculo de vão efetivo	31
Figura 6 - Detalhe da planta de forma com a Viga V2	32
Figura 7 - Armadura transversais e longitudinais em vigas	32
Figura 8 - Diagrama de esforço cortante V2 - Vão 1	37
Figura 9 - Diagrama Esforço cortante V2 - Vão 2	38
Figura 10 - Diagrama de momentos fletores V2 - Vão 1	38
Figura 11 - Diagrama de momentos fletores V2 - Vão 12	39
Figura 13 - Detalhamento V2	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos aços	24
Tabela 2 - Valores de γ_c e γ_s	26
Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental (CAA)	29
Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	30
Tabela 5 - Taxa de armadura mínima	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AUTOCAD -	Computer Aided Design (Desenho Auxiliado por Computador)
BIM -	Building Information Modeling (Modelagem de Informações da Construção)
ELU -	Estado-limite último
NBR -	Norma Brasileira Registrada
UNIATENAS -	Centro Universitário Atenas
PP -	Peso Próprio

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Índice de esbeltes
l_e	Comprimento equivalente
i	Raio de giração
I_c	Momento de inércia
A_c	Área da seção transversal do pilar
l_o	Distância entre faces internas de elementos estruturais
l	Distância entre eixos dos elementos estruturais
h	Altura da seção do pilar
$\Delta\sigma_p$	Variação da tensão no aço de protensão entre t_0 e t
f_{ck}	Resistência característica a compressão do concreto
f_{yk}	Resistência característica do aço
f_{bd}	Resistência de aderência de cálculo entre a armadura e o concreto na ancoragem de armaduras passivas
ρ_p	Taxa geométrica de armadura ativa
MPa	Megapascal
b_c	Largura da mesa de compressão
d_p	Altura útil referida a armadura ativa
C50	Concreto de classe 50 Mpa
ϵ_{c2}	Deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico
ϵ_{cu}	Deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura
ϵ_s	Deformação específica do aço da armadura passiva
ϵ_y	Deformação específica de escoamento do aço
γ_n	Coefficiente de ajuste de γf
CA-50	Aço de resistência ao escoamento de 500 Mpa
$k.l$	Comprimento de flambagem

e_i	Excentricidade inicial
M_{sd}	Momento fletor solicitante de cálculo
N_{sd}	Esforço normal solicitante de cálculo
θ_{1min}	Desaprumo mínimo
H	Altura total da edificação
n	Número de prumadas
θ_a	Desaprumo
M_{1dmin}	Momento fletor mínimo de 1ª ordem
N_d	Esforço normal de cálculo
λ_1	Índice de esbeltes limite
α_b	Expoente
κ	Rigidez adimensional
$1/r$	Momento de curvatura
σ	Tensão
ε	Módulo de elasticidade
σ_c	Tensão no concreto
σ_s	Tensão no aço
γ_s	Coeficiente minorador do aço
γ_f	Coeficiente ponderador das ações
GPa	Gigapascal
$M_{d,tot}$	Momento fletor total de cálculo
$M_{1d,A}$	Momento fletor de 1ª ordem de cálculo
v	Força normal adimensional
MB	Menor momento entre topo e base
MA	Maior momento entre topo e base

MC	Momento no meio do pilar
$M_{sd,tot}$	Momento solicitante total de cálculo
$M_{rd,tot}$	Momento resistente total de cálculo
\emptyset	Bitola do aço
$M_{sk,x}$	Momento solicitante característico na direção x
$M_{sk,y}$	Momento solicitante característico na direção y
FS	Fator de segurança
f_{cj}	Resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade (j) dias;
$f_{ctk,sup}$	Resistência característica superior do concreto à tração;
I_c	Momento de inércia da seção bruta de concreto;
$f_{ct,m}$	Resistência média à tração do concreto;
γ_t	Distância do centro de gravidade à fibra mais tracionada.
N_{rup}	Carga de ruptura do corpo de prova;
A_{cri}	Área da região de envolvimento protegida pela barra \emptyset_i ;
E_{si}	Módulo de elasticidade do aço da barra \emptyset_i considerada;
\emptyset_i	Diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada;
ρ_{ri}	Taxa de armadura passiva ou ativa aderente (que não esteja dentro de bainha) em relação à área da região de envolvimento (A_{cri});
η_i	Coefficiente de conformação superficial η_1 da armadura passiva considerada;
σ_{si}	Tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no Estádio II;
A	Área da seção transversal do corpo de prova.
V_{sd}	Força solicitante de cálculo na seção;
V_{Rd2}	Força cortante resistente de cálculo, relativa a ruína das diagonais comprimidas de concreto;
V_{Rd3}	Força cortante resistente de cálculo, relativa a ruína por tração diagonal;

V_c Parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça;

V_{sw} Parcela de força cortante resistida pela armadura transversal;

S Espaçamento entre eixos dos estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural;

W_0 Módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada;

I_c Momento de inércia da seção bruta;

$y_t =$ Distância da linha neutra até a fibra mais tracionada da seção;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 PROBLEMA	18
1.2 METODOLOGIA	18
1.3 HIPÓTESES	18
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 OBJETIVO GERAL	19
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.5 JUSTIFICATIVA	19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 PROJETOS DE CONCRETO ARMADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
2.1 CONCRETO ARMADO	21
2.2 DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	21
2.3 AÇO	24
2.4 ESTADOS LIMITES	24
2.4.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)	24
2.4.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)	25
2.5 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO	25
2.5.1 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA	26
2.6 VALORES DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO	26
2.7 AÇÕES	27
2.7.1 AÇÕES PERMANENTES	28
2.7.2 AÇÕES VARIÁVEIS	28
2.7.3 AÇÕES EXCEPCIONAIS	28
2.8 COBRIMENTO	28
2.9 DURABILIDADE DA ESTRUTURA	29
3 DETALHAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	31
3.1 ARMADURA LONGITUDINAL	33
3.1.1 DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL	33
3.1.2 ANCORAGEM DAS BARRAS	33

3.2 EMENDAS DE BARRAS	35
3.3 CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL	35
3.4 CALCULANDO A VIGA V2	36
3.4.1 GEOMETRIA DA VIGA V2 – VÃO 1	36
3.4.2 GEOMETRIA DA VIGA V2 – VÃO 2	37
3.4.3 CARREGAMENTO DISTRIBUÍDO	37
3.4.4 DIAGRAMA DE ESFORÇÕES CORTANTES DO ELU EM V2.	37
3.4.5 DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR DO ELU EM V2	38
3.5 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL	39
3.5.1 ARMADURA MÍNIMA	40
3.5.2 ARMADURA MÁXIMA	40
3.6 DIMENSIONAMENTOS DA VIGA V2 - VÃO 1	41
3.6.1 GEOMETRIA	41
3.6.2 MATERIAIS E COBRIMENTO	41
3.6.3 ESQUERDA DO VÃO	41
3.6.4 MEIO DO VÃO	41
3.6.5 DIREITA DO VÃO	42
3.6.6 FLECHAS	42
3.6.7 DIMENSIONAMENTO A CORTANTE	42
3.7 DIMENSIONAMENTOS DA VIGA V2 - VÃO 2	43
3.7.1 GEOMETRIA	43
3.7.2 MATERIAIS E COBRIMENTO	43
3.7.3 ESQUERDA DO VÃO	43
3.7.4 MEIO DO VÃO	43
3.7.5 DIREITA DO VÃO	43
3.7.6 FLECHAS	44
3.7.7 DIMENSIONAMENTO A CORTANTE	44
3.7.8 DETALHAMENTO FINAL	44
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos elementos de concreto armado é uma das atribuições dos Engenheiros de Estrutura. Pode-se definir estrutura como a parte resistente, capaz de receber solicitações externas, absorvendo-as internamente e transmitindo-as até seus apoios ou vínculos. A Engenharia Estrutural, trata de várias etapas do projeto de estrutura, desde o planejamento, elaboração do projeto, construção e manutenção de sistemas estruturais.

O Engenheiro de Estrutura busca através da análise do projeto e de modelos de cálculos matemático, verificar o comportamento da estrutura, avaliando os esforços, as deformações, e posteriormente realizar o processamento dos resultados, possibilitando dimensionar e construir satisfazendo as condições de segurança, economia, rapidez, ambientais, facilidade e durabilidade.

Os estudos para o dimensionamento dos elementos estruturais se darão utilizando-se de métodos manuais aprendidos na graduação do curso de Engenharia Civil da UniAtenas, e também, através de programas, como: AUTOCAD – utilizado para elaboração de desenhos técnicos; CAD/TQS - destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e de alvenaria estrutural e o REVIT - software BIM para arquitetura, urbanismo, engenharia e design. Estas ferramentas serão utilizadas como auxílios computacionais para elaboração do projeto arquitetônico e dos projetos estruturais.

Mesmo com o auxílio de ferramentais computacionais, os engenheiros deverão estar atentos a todos os resultados, pois elas devem ser somente um acessório para criação dos projetos. Toda responsabilidade é inteiramente do Engenheiro que a manipula, que deve observar seus resultados e compará-los metodologicamente com as normas brasileiras.

Será abordado neste trabalho, o dimensionamento de alguns elementos estruturais, como: vigas, pilares, lajes e fundações. Detalhando e analisando neste estudo o primeiro pavimento do edifício unifamiliar, que conterà dois pavimentos em sua totalidade. Serão utilizados os conhecimentos das disciplinas de Materiais de Construção I e II, Resistência dos Materiais I e II, Estrutura de Concreto Armado I e II, e Fundações.

1.1 PROBLEMA

Observa-se que o processo de criação de projetos estruturais que propicie segurança, confiabilidade, durabilidade e rigidez, baseados na NBR 6118:2014, é o papel do engenheiro calculista.

Neste sentido, o que o engenheiro deverá fazer para garantir um correto dimensionamento de todos os elementos estruturais em projetos de concreto armado, principalmente em residência unifamiliar de dois pavimentos?

1.2 METODOLOGIA

A pesquisa em questão será de cunho bibliográfico, como segundo Gil (2010, p.29-31) “a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos”. Será utilizado material já publicado como: livros e trabalhos de conclusão de curso disponibilizados pelos sites de buscas existentes na internet.

Gil (2008) estabelece de pesquisa explicativa aquela que identifica os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É o tipo que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

Assim, a pesquisa em questão além de ser bibliográfica também se classifica como explicativa, pois identificará fatores inerentes à estruturas de concreto armado.

1.3 HIPÓTESES

Na garantia de um correto dimensionamento de todos os elementos estruturais em projetos de concreto armado, principalmente em residência unifamiliar de dois pavimentos, espera-se:

a) que seja necessário estabelecer os requisitos básicos exigíveis para um projeto de estruturas de concreto armado, mantendo a perfeita aderência entre o concreto e a armadura.

b) como resultado final, garantir a resistência, a compressão e a tração dos elementos estruturais que serão abordados neste trabalho, como exemplo: viga.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Promover informações aos Engenheiros Civis, acerca do correto dimensionamento de todos os elementos estruturais em projetos de concreto armado, principalmente em residência unifamiliar de dois pavimentos, respeitando os princípios da NBR 6118:2014.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) identificar características dos projetos de concreto armado na construção civil.
- b) reconhecer a importância do detalhamento e dimensionamento de toda a estrutura do projeto: regiões críticas e comportamento estrutural.
- c) apontar a o ganho da utilização do concreto armado nos projetos de residência unifamiliar de dois pavimentos, respeitando os princípios da NBR 6118:2014.

1.5 JUSTIFICATIVA

Saber todos os aspectos do dimensionamento e detalhamento de uma estrutura é de fundamental importância para o Engenheiro de Estruturas, todavia, não é uma tarefa fácil. É importante definir as forças e solicitações que podem atuar com segurança nas estruturas ou em seus componentes e que definam os materiais adequados e as dimensões necessárias para a estrutura, em outras palavras, é importante saber definir os vãos das lajes e vigas, quantidade de pilares e suas respectivas dimensões e direções. E sobre tudo a fundação que melhor adequará à estrutura. Isso fará com que essas estruturas e seus componentes não sofram efeitos prejudiciais ao seu bom funcionamento.

As estruturas de concreto devem atender às condições mínimas de qualidade durante a construção, e aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o autor do projeto estrutural e o contratante.

A compreensão de todas as etapas do processo construtivo é algo distante a todos os estudantes do curso de Engenharia Civil, pois a maior dificuldade está em interpretar as normas e o projeto em si. Esta realidade afasta inicialmente os novos Engenheiros do mercado de trabalho, que diante da pouca experiência prática e da

dificuldade de entendimento dos resultados que os softwares computacionais geram, tornam difícil a concepção de um projeto executivo, desde o desenho da arquitetura até o dimensionamento e o detalhamento da estrutura.

Este trabalho tem como objetivo descrever todas as fases de um projeto estrutura, que compreende em dimensionar uma estrutura de concreto armado, determinando a seção de concreto, com a verificação do estado limite último, do estado limite do bolso do proprietário, do estado limite de serviço, da verificação da proteção da armadura impedindo sua.

O desenvolvimento deste projeto, busca uma solução estrutural que atenderá à norma vigente estabelecida na área. Essas primícias são requisitos mínimos de qualidade que ajudará a propiciará ao acadêmico da Engenharia Civil ser capaz de atuar com êxito na sua futura profissão. Assim, o projeto em questão se justifica.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo serão abordados os conceitos fundamentais ao estudo do concreto armado, abordando seus aspectos teóricos, como: diagrama tensão-deformação e módulo de elasticidade e resistência do concreto e estados limites, para se obter o melhor dimensionamento e detalhamento de estrutura.

No segundo capítulo serão estudados os conceitos estabelecidos pela NBR 6118:2014, sobre: concreto armado, cobrimento, durabilidade da estrutura, o Estado Limite Ultimo (ELU) e o Estado Limite Serviço (ELS) e as Ações que é qualquer influência que produzem estados de tensão ou de deformação em uma estrutura.

Já no terceiro capítulo será feito o detalhamento e dimensionamento de parte da estrutura do projeto em concreto armado, enfatizaremos somente a Viga V2, por ser uma viga que recebe várias cargas verticais de laje e de outra viga.

E para finalizar serão apresentadas as Considerações Finais que destacaremos o quanto é importante o acatamento da norma para o perfeito dimensionamento da estrutura.

2 PROJETOS DE CONCRETO ARMADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 CONCRETO ARMADO

O concreto (argamassa + agregados graúdos), é um material que apresenta alta resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), considera-se que essa resistência supere os 50 Mpa. Ele é composto de água, cimento e agregados. Portanto, é necessário juntá-lo a outros materiais para que também possuam resistência a tração. Carvalho e Filho (2016, p. 35), diz que o valor que representa um grau de confiança de 95%, ou seja, f_{ck} é o valor da resistência, de modo que 95% dos resultados dos ensaios estejam acima dele, ou 5% abaixo.

O Engenheiro calculista deverá utilizar o f_{ck} nos cálculos, para isso, é importante ensaiá-lo com diversos traços, ou seja, relação entre a água, cimento, areia e brita até encontrar o adequado.

O ajuntamento do concreto simples a um material resistente à tração, neste caso, o aço, faz com que ele resista solidariamente aos esforços solicitantes. Bastos (2006, p. 8), diz que o trabalho conjunto do concreto e do aço é possível porque os coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais são praticamente iguais. Carvalho e Filho (2016, p. 35), também diz que as barras e fios destinados a armadura para concreto armado (CA25, CA50 e CA60) possuem, normalmente, teor de carbono entre 0,08% e 0,50%, por isso, a denominação técnica correta é aço.

O Aço possui resistência característica de escoamento do aço à tração (f_{yk}) e é a máxima tensão que a barra ou fio devem suportar e a partir dela o aço começa a sofrer deformações.

2.2 DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO

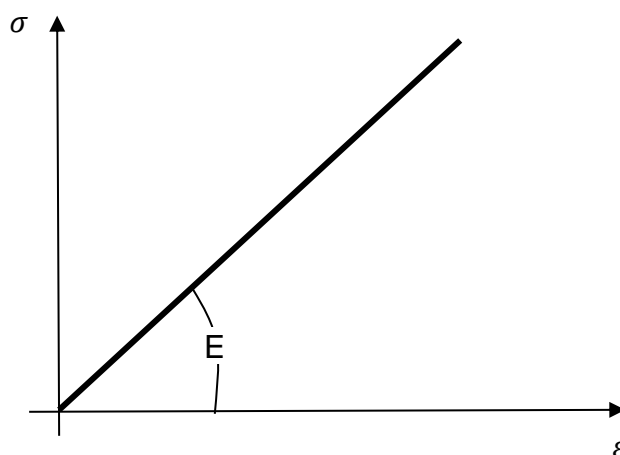
Ao se aplicar uma força a um corpo fará com ele mude a forma e o tamanho. Essas mudanças são chamadas de deformações e podem ser visíveis ou imperceptíveis. Os elementos estruturais de um edifício irão sofrer pequenas deformações quando as cargas variáveis são um grande número de pessoas andando sobre um piso. Hibbeler (2010, p. 47), diz que a deformação de um corpo não será uniforme em todo o seu volume e, portanto, a mudança na geometria de cada segmento de reta no interior do corpo pode variar ao longo de seu comprimento.

No concreto armado o diagrama tensão-deformação é diferente para cada tipo de concreto, variando sobretudo em função da resistência. Este diagrama apresenta as tensões (σ) e deformações (ε) do concreto.

Carvalho e Filho (2016, p. 38), diz que na compressão, são obtidos por ensaios de corpos de prova à compressão centrada e apresentam uma parte curva (na classe I é parabólica) e outra sensivelmente retilínea. Na tração, são empregados diagramas bilineares.

Pode se dizer que a relação entre tensão e deformação é linear (Lei de Hooke), onde, $\sigma = E \varepsilon$, sendo E o módulo de Elasticidade ou Módulo de Deformação Logitudinal.

Figura 1 - Módulo de Elasticidade ou Deformação Longitudinal



O módulo de elasticidade está ligado à deformação do concreto sob as ações de tensões e é avaliado pelo ensaio de compressão do diagrama de tensão-deformação. Segundo Carvalho e Filho (2016, p. 38), pode-se definir os seguintes módulos de elasticidade para o concreto, de acordo com a Figura 1

a) **Módulo tangente** – o valor é variável em cada ponto e é dado pela inclinação da reta tangente à curva nesse ponto;

a) **Módulo de deformação tangente na origem (E_0), ou módulo de deformabilidade inicial**; dado inclinação da reta tangente à curva na origem;

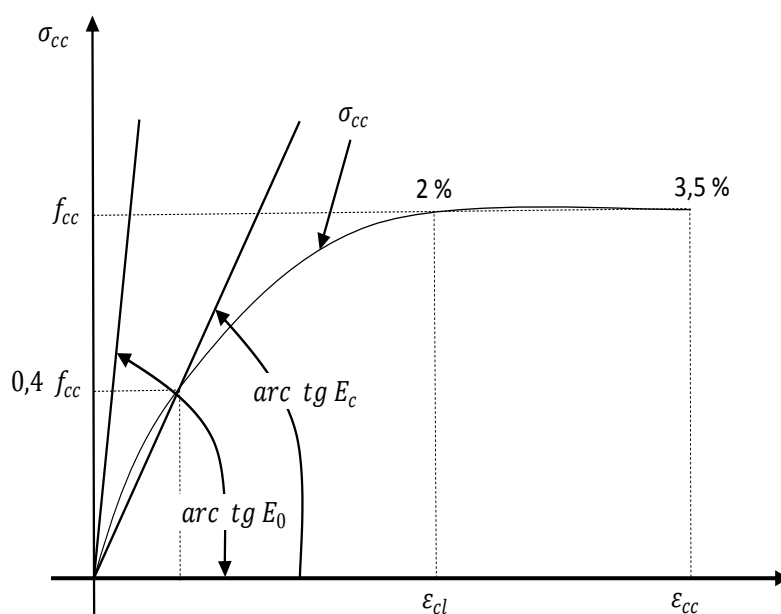
b) **Módulo secante (módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal à compressão (E_{cs}))**: sendo empregada para análises elástica, para determinar os esforços solicitantes e verificação de limites de serviço, sendo calculada pela seguinte expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci} \quad (1)$$

Seu valor é variável em cada ponto e é obtido pela inclinação da reta que une a origem com esse ponto, ou seja:

$$E_{cs} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

Figura 2 - Diagrama tensão-deformação do concreto



Na NBR 6118:2014, encontra-se as considerações sobre o Módulo de deformação tangente inicial do concreto (E_{ci}), que deverá ser determinado de acordo com o metodologia de ensaio estabelecida pela ABNT NBR 8522:2008, com 28 dias de idade.

Ele também pode ser definido por meio das expressões:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \text{ para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ Mpa} \quad (3)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3} \text{ para } f_{ck} \text{ de } 55 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa} \quad (4)$$

em que:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário;

$\alpha_E = 1,2$ para arenito.

O módulo de deformação secante também pode ser definido pela ABNT NBR 8522:2008, pela expressão:

$$E_{cs} = \alpha_1 \cdot E_{ci} = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80}\right) \cdot E_{ci} \leq E_{ci} \quad (5)$$

2.3 AÇO

O aço é produzido a partir do minério de ferro, carvão e cal. Ele é fabricado pela descarbonatação, ou seja, a diminuição do teor de carbono do ferro gusa. Os aços para as armaduras de concreto apresentam seção circular e são usados de forma passiva.

O concreto de forma isolada tem baixa resistência à tração, por isso, é crucial juntar o concreto a um material com alta resistência a tração, o aço. A união do concreto, a armadura e o aço forma-se o que chamamos de concreto armado. As barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto as de compressão.

A resistência à tração do concreto armado está ligada aos esforços cortantes, ou seja, à capacidade cortante da peça.

A norma ABNT NBR 7480:2007, define os requisitos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado, com ou sem revestimento superficial.

Na Tabela 1, seguem algumas propriedades do aço de acordo com as novas determinações da NBR 6118:2014.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas dos aços

Aço	f_{yk} MPa	f_{yd} MPa	ε_{yd} (%)	$\zeta = x/d$
CA25	250	217	0,104	0,7709
CA50	500	435	0,207	0,6283
CA60	600	522	0,248	0,5900

2.4 ESTADOS LIMITES

O estado limite está relacionado ao colapso e pode determinar a interrupção do uso da estrutura, ou seja, são valores distintos que não podem ser ultrapassados.

A estrutura deve apresentar dois estados limites, conforme descrito abaixo.

2.4.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

As solicitações de cálculos devem ser menores que as solicitações últimas, evitando a ruptura da estrutura. Portanto, o ELU está relacionado ao colapso ou ruína,

sendo importante verificar a segurança da estrutura afim de garantir as condições construtivas e analítica segurança.

Na NBR 6118:2014 item 10.3 apresenta os estados limites últimos que devem ser verificados, sendo eles:

- Perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- Esgotamento da capacidade resistente da estrutura;
- Instabilidade devido a solicitações mecânicas;
- Provocado por solicitações dinâmicas (por vibração excessiva ou por fadiga dos materiais);
- Colapso progressivo (fadiga).

2.4.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

Está relacionado ao conforto do usuário, durabilidade, funcionalidade e aparência da estrutura, conforto do usuário. A estrutura ainda pode não ter atingido a sua capacidade máxima resistente, mas pode trazer desconforto ao usuário apresentando fissuras e flechas muito grandes em lajes e vigas. Na NBR 6118:2014, item 3.2 expõe os ELS que devem ser verificados, sendo eles:

- Abertura das fissuras;
- Deformações excessivas;
- Descompressão;
- Descompressão parcial;
- Compressão excessiva;
- Vibrações excessivas.

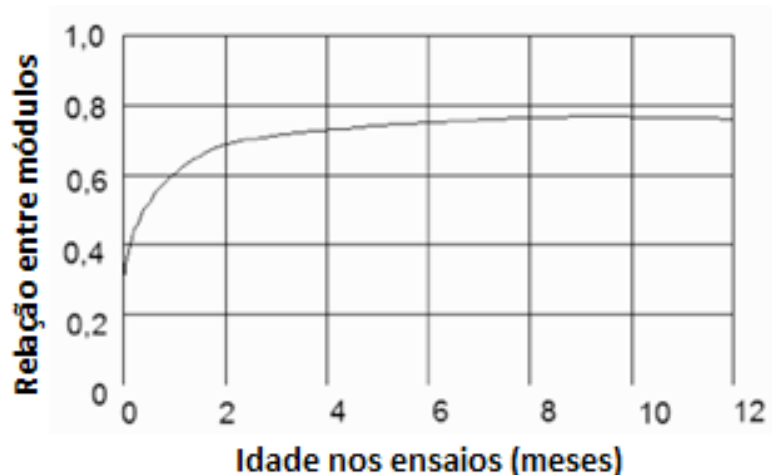
2.5 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO

A principal característica do concreto é a resistência à compressão e ela apresenta grande variação podendo aumentar e diminuir devido a vários fatores, como: preparação (quantidades de cimento, agregados e água), ou seja, o traço, transporte, lançamento e cura do concreto.

A resistência é verificada a partir de ensaio de corpos de prova submetidos à compressão centrada, permitindo a aquisição de várias outras características, como o módulo de elasticidade (módulo de deformação longitudinal).

A resistência do concreto aumenta com a idade, conforme Figura 3:

Figura 3 – Resistência do concreto em meses



A resistência à compressão é obtida por um ensaio de curta duração do corpo de prova, dada pela expressão:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (6)$$

2.5.1 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DA RESISTÊNCIA

Na Tabela 2 está descrito os valores de base para verificação no estado limite último.

Tabela 2 - Valores de γ_c e γ_s

Combinações	γ_c	γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de Construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,00

Os valores das resistências de cálculo referente ao concreto e do aço no estado limite último, são:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (7)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (8)$$

2.6 VALORES DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

A NBR 6118:2014, item 12.5.3 estabelece que os valores de cálculo dos esforços resistentes são determinados a partir dos valores de cálculo das resistências dos materiais adotados no projeto, ou das tensões resistentes de cálculo.

A resistência de cálculo f_d é dada pela expressão:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (9)$$

Onde:

f_d = resistência de cálculo

f_k = valores característico de resistência

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências

A resistência do concreto é obtida de duas maneiras de acordo com a sua idade.

- a) Verificação feita com data j igual ou superior a 28 dias, confirmando o valor de f_{ck} de projeto.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (10)$$

- b) Verificação feita com data j menor a 28 dias.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck,j}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (11)$$

Onde:

f_{cd} = Resistência do cálculo do Concreto

f_{ck} = Resistência característica à compressão

γ_c = Coeficiente de ponderação da resistência do concreto

$f_{ck,j}$ = Resistência característica à compressão do concreto aos j dias

β_1 = relação $f_{ck,j}/f_{ck}$

2.7 AÇÕES

Carvalho e Filho (2016, p. 53), define ações como qualquer influência, ou conjunto de influências, capazes de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura.

A ABNT NBR 8681:2003, estabelece e classifica estas ações em variáveis, permanentes e excepcionais. Elas são peculiares a cada para cada tipo de construção. É imprescindível considerar essas ações, pois elas produzem efeitos significativos para a segurança da estrutura e deve-se levar em conta os prováveis estados limites últimos e os de serviços.

2.7.1 AÇÕES PERMANENTES

De acordo com a NBR 6118:2014, as ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constante durante toda a vida da construção, e também são consideradas as ações que crescem no tempo, tendendo a um valor constante. Contudo, elas devem ser consideradas com valores mais desfavoráveis para a segurança. As ações permanentes são divididas em diretas e indiretas.

As ações permanentes diretas são relativas ao peso próprio da estrutura e os pesos das instalações permanentes e elementos construtivos. As ações indiretas são as relativas as deformações impostas pela fluência e retração do concreto, deslocamentos de apoio, proteção, imperfeições geométricas (globais e locais).

2.7.2 AÇÕES VARIÁVEIS

As ações variáveis são as que variam com o tempo e também são classificadas como diretas e indiretas. De acordo com a NBR 6118:2014, item 11.4.1, as ações variáveis diretas são compostas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água. Essas cargas são:

- Cargas verticais de uso da construção (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos, etc.);
- Cargas móveis, considerando o impacto vertical;
- Impacto lateral;
- Força longitudinal de frenação ou aceleração; e
- Força centrífuga.

As ações variáveis indiretas segundo a NBR 6118:2014, item 11.4.2, são causadas por variações uniformes e não uniformes de temperatura e por ações dinâmicas.

2.7.3 AÇÕES EXCEPCIONAIS

São aquelas que atinge as estruturas e seus efeitos não podem ser controlados, como: enchentes, explosões, sismos e incêndios e não possuem valores definidos.

2.8 COBRIMENTO

O cobrimento tem como característica principal a proteção física e química da armadura. Um cobrimento imperfeito significa deixar os vergalhões de aço sujeito

aos agentes do ambientais agressivos. Quando não se observa o cobrimento prescrito pela norma se depara com patologias de corrosão da armadura, o que envolve altos custos de recuperação às construtoras.

2.9 DURABILIDADE DA ESTRUTURA

A durabilidade da estrutura de concreto armado é motivo de diversas pesquisas e as exigências referentes à sua durabilidade vem se tornando cada vez mais rígidas e necessárias.

No item 6.1 da NBR 6118:2014, exige que estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Seguindo, a norma também estabelece que durante sua vida útil a estrutura atenda todos os requisitos de segurança, suportando as ações impostas sem atingir a ruína. Ou seja, uma vida útil longa é sinal de durabilidade.

Mesmo com a imposição da norma a respeito da maior perfeição construtiva a vida útil da estrutura é indeterminada, pois a mesma depende de diversos fatores, como cura, cobrimento, fabricação dos materiais, qualidade de construção e utilização.

Outro ponto importante é a Classe de agressividade ambiental (CAA), que é representada na Tabela 3 e, também na tabela 6.1 da NBR 6118:2014, que pode ser avaliada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	

IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingo de maré	
1)	Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).		
2)	Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.		
3)	Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.		

A norma também expõe a correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

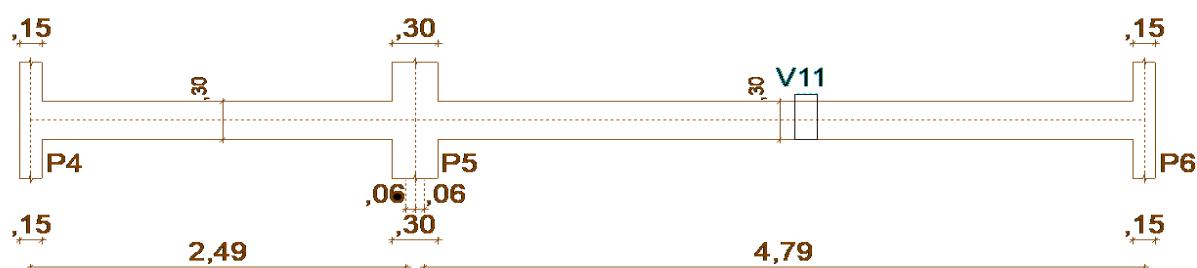
Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água / cimento em massa	Concreto armado	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	Concreto protendido	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	Concreto armado	≤ 0,20	≤ 0,25	≤ 0,30	≤ 0,40
	Concreto protendido	≤ 0,25	≤ 0,30	≤ 0,35	≤ 0,40

3 DETALHAMENTO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

O modelo estrutural de um edifício é composto por pórticos espaciais que são ligados às lajes. Pode-se dizer que é uma estrutura tridimensional constituída por barras (elementos lineares) e lajes (elementos bidimensionais).

Neste trabalho será feito o detalhamento e dimensionamento da viga V2 do pavimento 1, isso devido à variedade e enorme quantidade dos outros elementos estruturais existentes neste projeto, o que com certeza, não daria para ser relacionado neste trabalho de conclusão de curso.

Figura 4 - Vãos da Viga V2



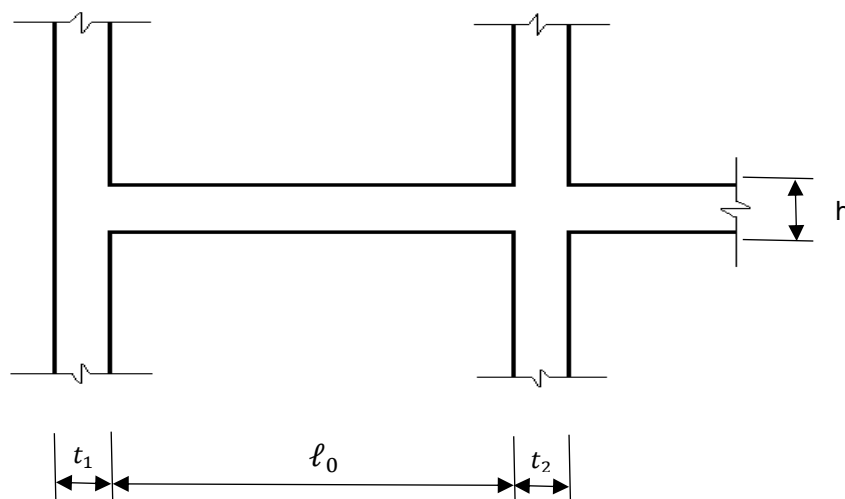
A Viga V2 possui dois vãos, conforme demonstrado na Figura 4, o cálculo dos vãos efetivos que substituem o vão teórico, pode ser calculado pela expressão:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (12)$$

$$\text{com: } a_1 \leq \left\{ \frac{t_1/2}{0,3 h} \right\} \quad \text{e } a_2 \leq \left\{ \frac{t_2/2}{0,3 h} \right\} \quad (13)$$

As dimensões l_0 , t_1 , t_2 e h estão indicadas na Figura 5.

Figura 5 - Dimensões no cálculo de vão efetivo



A NBR 6118:2014 define viga como elementos lineares em que a flexão é preponderante, cuja função é vencer vãos, transmitindo as ações que nelas atuam para os pilares (apoios). Portanto, elas são responsáveis em receber as ações das lajes, de outras vigas, de pilares, de paredes de alvenaria.

Figura 6 - Detalhe da planta de forma com a Viga V2



As ações podem ser concentradas ou distribuídas, recebendo na direção do eixo longitudinal forças normais de compressão e tração. Elas, além dos outros elementos estruturais, desempenham função estrutural de contraventamento, que são responsáveis em proporcionar a estabilidade global dos edifícios às ações horizontais e verticais.

Suas armaduras são geralmente compostas por estribos, ou seja, armaduras transversais, e, por fim, de barras longitudinais, chamadas "armadura longitudinal".

A Figura 7 mostra um exemplo da armação de uma viga:

Figura 7 - Armadura transversais e longitudinais em vigas



3.1 ARMADURA LONGITUDINAL

3.1.1 DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL

Na NBR 6118:2014 item 18.3.2.2, define que o espaçamento mínimo entre as faces das barras longitudinais, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores:

Direção horizontal:

- 20 mm;
- diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo;

Direção vertical:

- 20 mm;
- Diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
- 0,5 vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Será necessário fazer uma análise para avaliar se a altura útil foi calculada corretamente, ou seja, a razão d_{real}/d_{est} não deverá exceder 1,05. Deverá ser calculado uma nova área de aço caso o valor seja superado.

3.1.2 ANCORAGEM DAS BARRAS

Nas barras comprimidas não poderá ter ganchos, já as barras tracionadas podem ser ancoradas ao longo de seu comprimento, de acordo com as seguintes condições:

- Obrigatoriamente com ganchos para barras lisas;
- Sem gancho nas que tenham alternância de sollicitação, de tração e compressão;
- Com ou sem ganchos nos demais casos, não sendo recomendado para barras de $\Phi > 32$ mm ou para feixes de barras.

É necessário conhecer o cálculo da resistência à tração o concreto em MPa, dado pela expressão:

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4} \quad (14)$$

O comprimento da ancoragem se faz necessário para que a armadura não seja arrancada da peça de concreto. O f_{bd} , define o comprimento de ancoragem, conforme a expressão:

$$f_{bd} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot f_{ctd} \quad (15)$$

Onde:

$n_1 = 1,0$ para barras lisas (CA25);

$n_1 = 1,4$ para barras entalhadas (CA60);

$n_1 = 2,25$ para barras de alta aderência (CA50);

$n_2 = 1,0$ para situações de boa aderência;

$n_2 = 0,7$ para situações de má aderência;

$n_3 = 1,0$ para $\varnothing < 32$ mm (\varnothing é o diâmetro da barra em mm);

$n_3 = \frac{132 - \varnothing}{100}$ para $\varnothing < 32$ mm (\varnothing é o diâmetro em mm);

O cálculo do comprimento de ancoragem reto básico (l_b) é dado pela expressão:

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (16)$$

A NBR 6118:2014 item 9.4.6, estabelece que a ancoragem deve ser garantida por ganchos ou barras longitudinais soldadas. No item 9.4.2.3 da norma, estão as recomendações dos ganchos da armadura longitudinal de tração. Neste projeto será usado o ângulo reto para o gancho, com a ponta reta de comprimento de $8 \times \varnothing$. A próxima equação mostra o cálculo do comprimento gasto para executar o gancho:

$$l_b = \frac{\pi \cdot (5 \cdot \varnothing + \varnothing)}{4} + 8 \cdot \varnothing \quad (17)$$

O início da curva deve ser descontado, conforme a próxima equação;

$$\frac{(5 \cdot \varnothing)}{2} + \varnothing \quad (18)$$

Por fim, é necessário calcular o comprimento necessário de ancoragem, conforme a equação:

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,min} \quad (19)$$

$\alpha_1 = 1,0$ (barras sem gancho);

$\alpha_1 = 0,7$ (barras tracionadas com gancho gancho);

O software computacional TQS, diante da normatização exposta dimensionou os ganchos com 20 cm nas barras tracionadas.

3.2 EMENDAS DE BARRAS

As emendas é algo necessário em qualquer construção e essas emendas podem ser por:

- Traspasse;
- Luvas de preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas;
- Por solda
- Por outros dispositivos devidamente justificados.

Neste trabalho estudares a emenda de barras por traspasse, ela não é permitida para barras de bitola maior que 32 mm e está descrita na NBR 6118:2014 item 9.5. A norma define que o comprimento por traspasse das barras comprimidas, deve ser:

$$l_{0c} = l_{b,nec} \geq l_{0c,min} \quad (20)$$

Onde $l_{0c,min}$ o maior valor entre $0,6 l_b$, 15ϕ e 200 mm.

3.3 CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL

O cálculo da armadura transversal deve respeitar as condições:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad (21)$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = V_c + V_{sw} \quad (22)$$

A NBR 6118:2014 no item 17.4.2.2 dimensiona e condiciona o modelo de cálculo I por meio das equações, verificando as condições de segurança e a compressão diagonal do concreto, com a equação:

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (23)$$

Onde:

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck}/250), \text{ sendo, } f_{ck};$$

A armadura transversal é dada pela equação:

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (24)$$

Primeiro, verifica-se o V_{sw} que é o esforço cortante que atua efetivamente na armadura, sendo que, parte dele é resistido pelo concreto (V_c).

$$V_{sw} = V_d - V_c \quad (25)$$

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad (26)$$

$$f_{ctd} = 0,15 \cdot f_{ckx}^{2/3} \quad (27)$$

O diâmetro da barra do estribo deverá atender o limite mínimo de 5 mm e máximo de 10% da largura da viga. Neste ponto, é necessário fazer o cálculo da armadura transversal a ser utilizada por metro de vigas, de acordo com a equação:

$$\left(\frac{A_{Sw}}{S}\right) = \frac{V_{Sw}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}} \quad (28)$$

O Espaçamento mínimo entre os estribos são:

$$S_{m\acute{a}x} = \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \cdot d \leq 300 \text{ mm se } V_{sd} \leq 0,67 \cdot V_{Rd2} \\ 0,3 \cdot d \leq 200 \text{ mm se } V_{sd} \leq 0,67 \cdot V_{Rd2} \end{array} \right\} \quad (29)$$

A NBR 6118:2014 no item 17.4.1.2.1 estabelece que pode ser feito reduções da força cortante juntos aos apoios, onde:

- A força cortante oriunda da carga distribuída pode ser considerada, no trecho entre o apoio e a seção situada à distância $d/2$ da face do apoio, constante igual à desta seção;
- A força cortante devida a uma carga concentrada aplicada a uma distancia $a \leq 2 \cdot d$ do eixo teórico do apoio pode, nesse trecho de comprimento a , ser reduzida multiplicando-a por $a / (2 \cdot d)$.

3.4 CALCULANDO A VIGA V2

Para o dimensionamento da Viga V2 é necessário analisar todos os elementos que se apoiam sobre ela. A Figura 6 demonstra o detalhamento da planta de forma para viga V2, bem como todos os apoios.

Diante da definição de ações descrita no item 2.7, descrevemos as ações atuantes por toda a extensão da viga V2, conforme a Figura 6, ela recebe as cargas verticais da Laje L3, L4 e da viga V11. Para o dimensionamento e o detalhamento da viga, será necessário a análise de todos os elementos que apoiam sobre ela.

Para BASTOS (p. 8, 2017), a altura das vigas depende de diversos fatores, sendo os mais importantes o vão, o carregamento e a resistência do concreto. A altura deve ser suficiente para proporcionar reasistência mecânica e baixa deformabilidade (flecha). Nas construções de pequeno porte divide-se o vão efetivo por 12.

Neste projeto definimos a altura da viga em 30 cm.

Também foi definido o vão efetivo:

3.4.1 GEOMETRIA DA VIGA V2 – VÃO 1

$$L = 2,40 \text{ m}$$

$$b_w = 0,15 \text{ m}$$

$$h = 0,30 \text{ m}$$

$$\ell_{efV1} = 2,40 + 0,075 + 0,075$$

$$\ell_{efV1} = 2,55 \text{ m}$$

3.4.2 GEOMETRIA DA VIGA V2 – VÃO 2

$$L = 4,70 \text{ m}$$

$$bw = 15,0 \text{ cm}$$

$$h = 30,0 \text{ cm}$$

$$\ell_{efV2} = 4,70 + 0,075 + 0,075$$

$$\ell_{efV2} = 4,85 \text{ m}$$

3.4.3 CARREGAMENTO DISTRIBUÍDO

Consideraremos o peso próprio da viga, onde será considerado o $\gamma_{conc} = 25 \text{ kN/m}^3$, temos:

Não será considerado os vãos de portas e de janelas nas paredes, ou seja, a carga da parede será considerada distribuída por toda a extensão da viga V2. Sua altura será de 2,70m, pois ela não atinge todo pé direito do pavimento devido da viga do andar cobertura. O peso específico para parede de alvenaria de tijolos será de 18 kN/m^2 , portanto, foi verificado no relatório de Viga do Sistema TQS Cad que as cargas totais atuantes na viga V2, são:

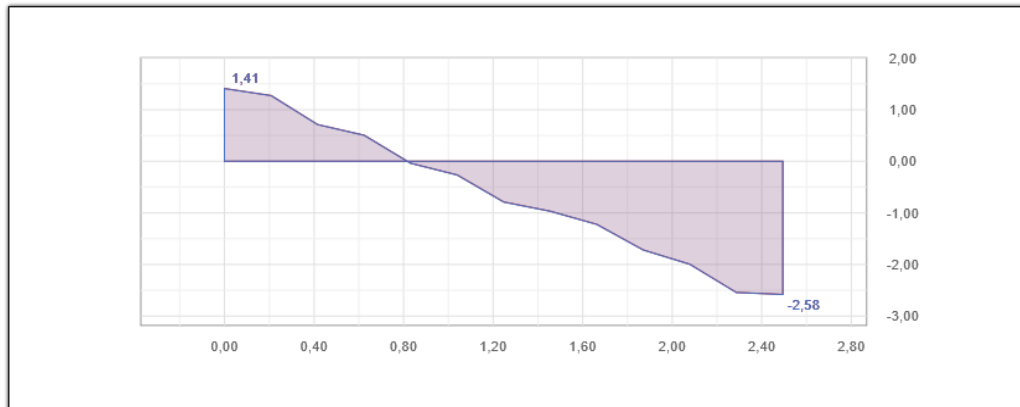
- Vão 1 = 15,87 kN;
- Vão 2 = 19,11 kN;

Com esses valores calculados, determinaremos os esforços solicitantes na viga v2 através do Software TQS Cad, apresentadas na figura a seguir:

3.4.4 DIAGRAMA DE ESFORÇÕES CORTANTES DO ELU EM V2.

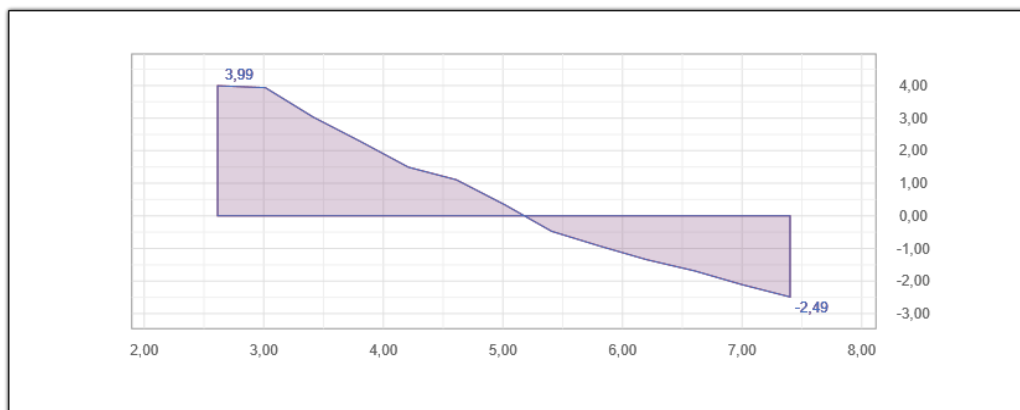
- Vão 1

Figura 8 - Diagrama de esforço cortante V2 - Vão 1



- Vão 2

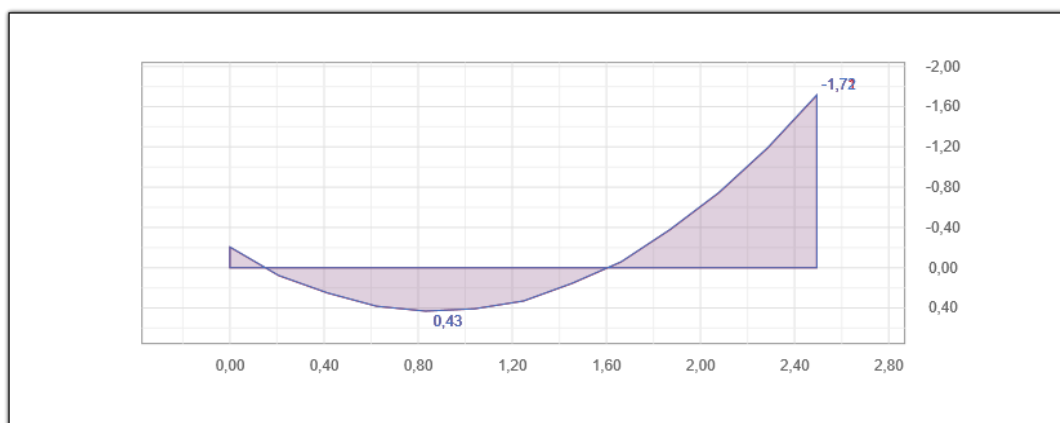
Figura 9 - Diagrama Esforço cortante V2 - Vão 2



3.4.5 DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR DO ELU EM V2

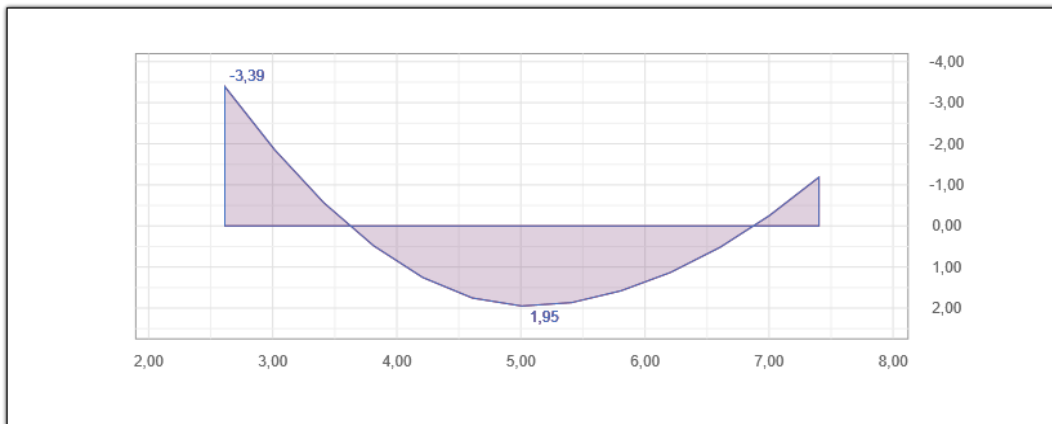
- Vão 1

Figura 10 - Diagrama de momentos fletores V2 - Vão 1



- Vão 2

Figura 11 - Diagrama de momentos fletores V2 - Vão 12



3.5 DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL

Calcula-se a armadura longitudinal com os resultados obtidos com os diagramas de momentos fletores, estimando o valor dos diâmetros das barras, longitudinais e transversais, ação necessária para cálculo da altura útil.

Também é preciso conhecer a linha neutra, que de acordo com Carvalho e Filho (2016, p. 3.17), é possível saber o domínio em que a peça está trabalhando e calcular a resultante das tensões de compressão no concreto (F_c) e o braço de alavanca (z).

$$F_c = (0,85 \cdot f_{cd}) \cdot (b_w) \cdot (0,8 \cdot x) \quad (30)$$

$$z = d - 0,4 \cdot x \quad (31)$$

$$M_d = f_c \cdot z \quad (32)$$

Portanto, temos:

$$M_d = (0,85 \cdot x \cdot d - 0,272 \cdot x^2) \cdot (b_w \cdot f_{cd}) \quad (33)$$

É importante definir a posição da linha neutra, que é um polinômio de segundo grau e a variação de x não é linear com o esforço solicitante M_d .

$$x = \frac{0,68 \cdot d \pm \sqrt{(0,68 \cdot d)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot \left(\frac{M_d}{b_w \cdot f_{cd}}\right)}}{0,544} \quad (34)$$

Com o valor de x , é possível calcular o A_s , conforme a equação:

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_s} \quad (35)$$

3.5.1 ARMADURA MÍNIMA

É importante calcular a armadura mínima para impedir rupturas e também absorver os esforços não considerados. Também é necessário assegurar as condições de ductilidade. A armadura de mínima de tração deve considerar o momento fletor mínimo, com a equação:

$$M_{d,min} = 0,8 \cdot W_0 \cdot f_{ctk,sup} \quad (36)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \cdot f_{ct,m} \quad (37)$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (38)$$

$$W_0 = \frac{I_c}{\psi_t} \quad (39)$$

A taxa de armadura, ou seja, a área de aço dividida pela área do concreto, nunca deverá ser inferior a 0,15%.

Tabela 5 - Taxa de armadura mínima

Taxa de armadura mínima ρ_{min} (As/Ac) para diferentes resistências de concretos																
MPa	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
ρ_{min}	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256	

3.5.2 ARMADURA MÁXIMA

A soma das armaduras de tração e de compressão ($A_s + A'_s$) não pode ter valor maior que 4 % da área da seção transversal bruta de concreto A_c , calculada na região fora da zona de emendas.

$$A_s + A'_s \leq \frac{4}{100} \cdot A_c \quad (40)$$

Definiremos o momento de fissuração, para verificação do estado limite de deformação excessiva, pela equação:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct,m} \cdot I_c}{\gamma_t} \quad (41)$$

Sendo:

$\alpha = 1,2$ para seções em forma de "T" ou duplo "T";

$\alpha = 1,3$ para seções "I" ou "T" invertido;

$\alpha = 1,5$ para seções retangulares;

É importante realizar a análise de fissuras mesmo se o momento aplicado for menor que o momento de fissuração, pois pode ocorrer fissuras por retração. Elas são verificadas pela menor das seguintes equações:

$$W_1 = \frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct,m}} \quad (42)$$

$$W_2 = \frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_i} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (43)$$

A força cortante resistida pela armadura transversal em uma certa seção, utilizando estribos verticais é dada pela equação:

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \quad (44)$$

3.6 DIMENSIONAMENTOS DA VIGA V2 - VÃO 1

3.6.1 GEOMETRIA

$$L = 2,49 \text{ m}$$

$$b_w = 15,0 \text{ cm}$$

$$h = 30,0 \text{ cm}$$

$$b_{cs} = 52,4 \text{ cm}$$

$$h_{fs} = 4,0 \text{ cm}$$

3.6.2 MATERIAIS E COBRIMENTO

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$c = 3,00 \text{ cm}$$

3.6.3 ESQUERDA DO VÃO

$$M_{sk-} = 0,21 \text{ tfm}$$

$$M_{1d,min-} = 0,52 \text{ tfm}$$

$$A_s = 0,73 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = 0,00 \text{ cm}^2$$

$$x/d = 0,06$$

$$x/d \text{ (max)} = 0,45$$

$$\text{Armadura} = 2 \text{ } \varnothing \text{ 8,0 mm}$$

$$\text{Asapo (Armadura que chega no extremo)} = 0,30 \text{ cm}^2$$

3.6.4 MEIO DO VÃO

$$M_{sk+} = 0,43 \text{ tfm}$$

$$M_{1d,min+} = 0,55 \text{ tfm}$$

$$A_s = 0,90 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = 0,00 \text{ cm}^2$$

$$LN = 0,5 \text{ cm}$$

Armadura = 2 Ø 8,0 mm

3.6.5 DIREITA DO VÃO

$M_{sk-} = 1,72 \text{ tfm}$

$M_{1d,min-} = 0,85 \text{ tfm}$

$A_s = 2,39 \text{ cm}^2$

$A_{s'} = 0,00 \text{ cm}^2$

$x/d = 0,22$

$x/d \text{ (max)} = 0,45$

Armadura = 2 Ø 16,0 mm

Asapo (Armadura que chega no extremo) = 0,30 cm²

3.6.6 FLECHAS

$\Delta_{lim} = 1,00 \text{ cm (L/250)}$

$\Delta = -0,07 \text{ cm (L/\Delta = 3659)}$ - Flecha obtida da grelha linear

3.6.7 DIMENSIONAMENTO A CORTANTE

$L = 2,33 \text{ m (} x_i = 0,00 \text{ m; } x_f = 2,33 \text{ m)}$

$b_w = 15,0 \text{ cm}$

$d = 25,7 \text{ cm}$

Modelo I

$\theta = 45^\circ$

$V_{Sd} = 3,61 \text{ tf}$

$V_{Rd2} = 16,76 \text{ tf}$

$V_{Rd3} = 1,98 \text{ tf}$

$V_c = 2,97 \text{ tf}$

$V_{sw} = -1,0 \text{ tf}$

$A_{sw} = 0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

$A_{sw,min} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.6.7.1 DETALHAMENTO

Número de ramos = 2

Armadura transversal = Ø 5,0 mm a cada 15,0 cm

3.7 DIMENSIONAMENTOS DA VIGA V2 - VÃO 2

3.7.1 GEOMETRIA

$$L = 4,79 \text{ m}$$

$$b_w = 15,0 \text{ cm}$$

$$h = 30,0 \text{ cm}$$

$$b_{cs} = 86,8 \text{ cm}$$

$$h_{fs} = 4,0 \text{ cm}$$

3.7.2 MATERIAIS E COBRIMENTO

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$c = 3,00 \text{ cm}$$

3.7.3 ESQUERDA DO VÃO

$$M_{sk-} = 3,39 \text{ tfm}$$

$$M_{1d,min-} = 1,21 \text{ tfm}$$

$$A_s = 5,38 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = 0,74 \text{ cm}^2$$

$$x/d = 0,45$$

$$x/d (\text{max}) = 0,45$$

$$\text{Armadura} = 3 \text{ } \varnothing 16,0 \text{ mm}$$

$$\text{Asapo (Armadura que chega no extremo)} = 0,74 \text{ cm}^2$$

3.7.4 MEIO DO VÃO

$$M_{sk+} = 1,95 \text{ tfm}$$

$$M_{1d,min+} = 0,60 \text{ tfm}$$

$$A_s = 2,51 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = 0,00 \text{ cm}^2$$

$$LN = 1,0 \text{ cm}$$

$$\text{Armadura} = 2 \text{ } \varnothing 12,5 \text{ mm}$$

3.7.5 DIREITA DO VÃO

$$M_{sk-} = 1,19 \text{ tfm}$$

$$M_{1d,min-} = 0,79 \text{ tfm}$$

$$A_s = 1,60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = 0,00 \text{ cm}^2$$

$$x/d = 0,15$$

$$x/d \text{ (max)} = 0,45$$

$$\text{Armadura} = 2 \text{ } \varnothing \text{ 10,0 mm}$$

$$\text{Asapo (Armadura que chega no extremo)} = 0,63 \text{ cm}^2$$

3.7.6 FLECHAS

$$\Delta_{\text{lim}} = 1,92 \text{ cm (L/250)}$$

$$\Delta = 1,43 \text{ cm (L/\Delta = 335) - Flecha obtida da grelha linear}$$

3.7.7 DIMENSIONAMENTO A CORTANTE

$$L = 4,62 \text{ m (} x_i = 0,00 \text{ m; } x_f = 4,62 \text{ m)}$$

$$b_w = 15,0 \text{ cm}$$

$$d = 25,7 \text{ cm}$$

Modelo I

$$\theta = 45^\circ$$

$$V_{Sd} = 5,59 \text{ tf}$$

$$V_{Rd2} = 16,76 \text{ tf}$$

$$V_{Rd3} = 5,59 \text{ tf}$$

$$V_c = 2,97 \text{ tf}$$

$$V_{sw} = 2,6 \text{ tf}$$

$$A_{sw} = 2,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sw,\text{min}} = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

3.7.7.1 TIRANTE / SUSPENSÃO

$$R_d = \text{tf}$$

$$A_{sw,\text{sus}} = 0,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sw,\text{total}} = 2,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

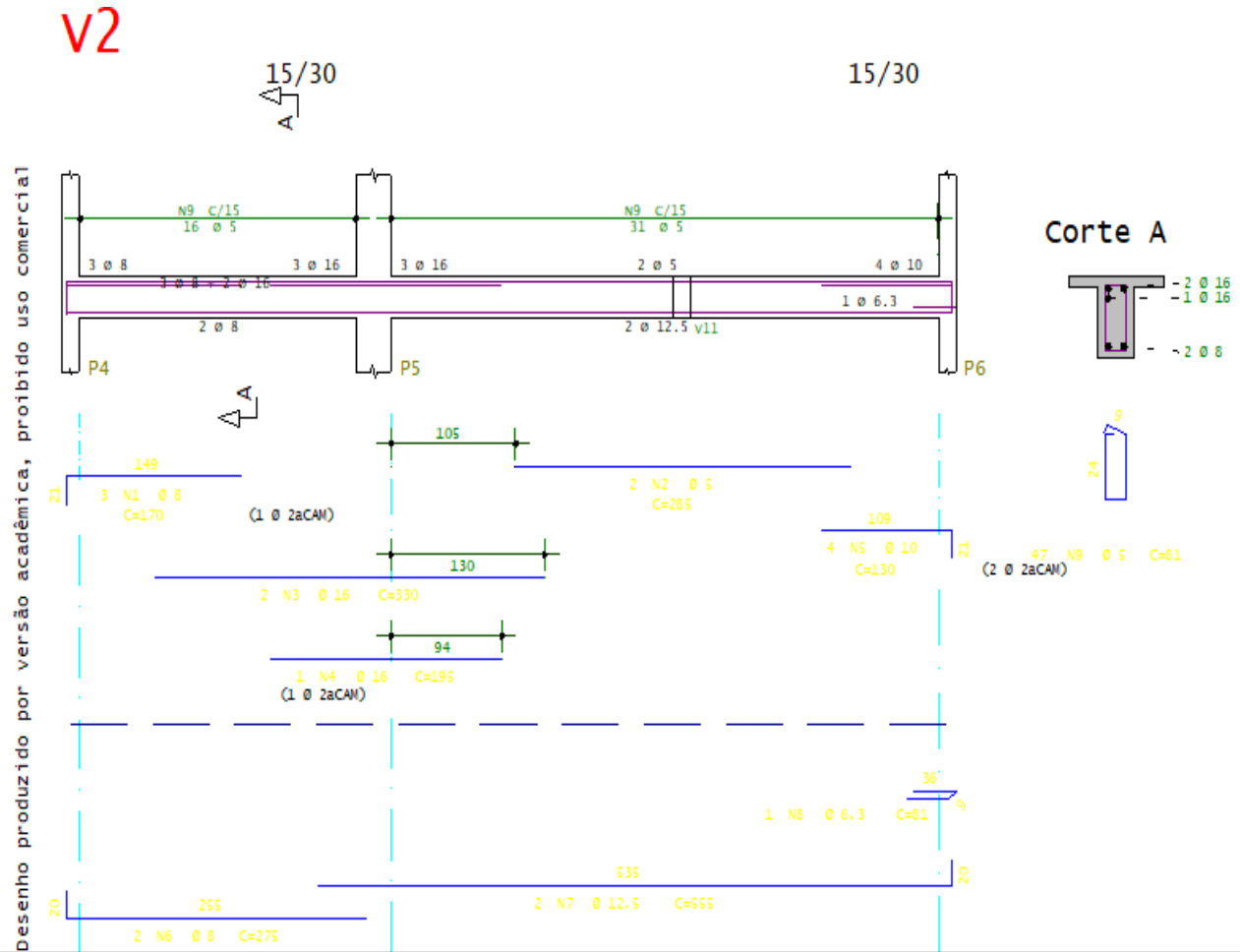
Número de ramos = 2

Armadura transversal = \varnothing 5,0 mm a cada 15,0 cm

3.7.8 DETALHAMENTO FINAL

Após o cálculo de toda a estrutura, foi possível fazer o detalhamento final da Viga V2, conforme a Figura 12, ilustrada na página seguinte:

Figura 12 - Detalhamento V2



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o Engenheiro Projetista é imprescindível conhecer e colocar em prática o que foi estabelecido pela norma vigente. Ele deverá utilizar de todas as técnicas, verificações e teses, e, com isso, poderá padronizar o projeto construtivo, utilizar os materiais de forma eficiente, gerando economia, além de ser algo obrigatório com base no Código de Defesa do Consumidor.

O Engenheiro projetista deverá, portanto, observar a NBR 6118:2014 que define os critérios gerais que conduzem o projeto das estruturas de concretos. Cabe dizer, que esta norma deve estar acompanhada de outras que forme que formem critérios para estruturas específicas, como exemplo: para fundação. Contudo, as normas estabelecem Leis que deverão ser seguidas para que as estruturas tenham mais: estabilidade, qualidade e segurança.

Observa-se, que no decorrer dos tempos o padrão de qualidade na construção civil foi alterado constantemente, ou seja, os requisitos mínimos de segurança também foram alterados e podemos observar que as normas associam essa qualidade nos processos construtivo ao produto final.

A relevância deste trabalho está em afirmar o quanto é necessário seguir à risca o que foi estabelecido pelas normas, sob pena de não padronização e falta de qualidade. Contudo, é extremamente necessário fazer uso dos itens da norma NBR 6118:2014, onde, todo dimensionamento e detalhamento foi feito seguindo os requisitos preestabelecidos. As armaduras longitudinais e transversais foram dimensionadas utilizando o mínimo de aço possível, o que traz economia, sem deixar de assegurar segurança à estrutura.

E, como resposta ao problema deste trabalho, foi possível observar que é primordial seguir as regras e diretrizes para conseguir alcançar os resultados almejados.

É necessário estar atento ao resultado final, ou seja, garantir a resistência, a compressão e a tração dos elementos estruturais, e, para isso, sem dúvidas é necessário conhecer e utilizar cada item existente da norma utilizada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014**, Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2011.

_____, **ABNT NBR 6120:1980**, Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____, **ABNT NBR 7480:2007**, Aço destinado a armadura para estrutura de concreto armado – Especificação, 2007.

_____, **ABNT NBR 8522:2008**, Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, 2008.

_____, **ABNT NBR 8681:2003**, Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, 2003.

ARAÚJO, J. M. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/dunas/V5.pdf>; Acesso em: 12 Fev. 2019.

BASTOS, Paulo. Sergio. Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>; Acesso em: 21 Set. 2019.

BREMM, C. M. F. **Modelo de concepção estrutural de edifício residencial multifamiliar de quatro pavimentos**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174166/TCC%20-%20Cassiano%20Mozar%20Fachinello%20Bremm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 Fev. 2019.

CAD/TQS. **Softwares para o cálculo estrutural de concreto armado, concreto protendido, alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas**. Versão: 21. TQS Informática Ltda, 2019. Disponível em: www.tqs.com.br. Acesso em: 10 Jan. 2019.

CARVALHO, C. C., FILHO J. R. F. **Calculo e detalhamento de estruturas usuais de Concreto Armado**. 4ª. ed. São Carlos: Edufscar. 2016.

FUSCO, P. B. **Estrutura de concreto**. Ed. Guanabara Dois; Rio de Janeiro; 1981.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTHA, L. F. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MIRANDA, C. **Conferência de Resultados TQS**. Disponível em: <http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/3-concepcao-estrutural/398-conferencia-de-resultados-tqs>. Acesso em: 12 Jan. 2019.

MODLER, L. E. A. **Desenvolvimento de rotinas computacionais para solução de problemas relacionados à engenharia civil**. XXX COBENGE, 2005. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/14/artigos/RS-5-622927570871117718031907.pdf>. Acesso em: 15 Fev 2019.

NETO, H. L. **Ensino história da engenharia de estruturas a alunos de Engenharia Civil**. . Disponível em: http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/Pef-2200/metodens-hist_eng.pdf. Acesso em: 25 Jan. 2019.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Universidade de São Paulo: São Paulo; 2007;

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**; 2ª ed. Rio Grande do Sul: Universidade Feevale; 2013.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural – Volume I – Estruturas Isostáticas**. 6ª ed. Porto Alegre e Rio de Janeiro: Globo, 1981.

VIEIRA, H. F. **Logística Aplicada à Construção Civil: Como Melhorar o Fluxo de Produção nas Obras**; Ed. Pini; São Paulo; 2006.