

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CONTRIBUIÇÕES PARA AUXILIAR NA ANCORAGEM DE
ARMADURAS POSITIVAS EM APOIOS EXTREMOS SIMPLES**

Felipe Pochmann Kirch

Lajeado, junho de 2015

Felipe Pochmann Kirch

**CONTRIBUIÇÕES PARA AUXILIAR NA ANCORAGEM DE
ARMADURAS POSITIVAS EM APOIOS EXTREMOS SIMPLES**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do Curso de Engenharia Civil, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: João Batista Gravina

Lajeado, junho de 2015

Felipe Pochmann Kirch

**CONTRIBUIÇÕES PARA AUXILIAR NA ANCORAGEM DE
ARMADURAS POSITIVAS EM APOIOS EXTREMOS SIMPLES**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II – Monografia, do curso de graduação em Engenharia Civil, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Ms. João Batista Gravina - Orientador
Centro Universitário Univates

Prof. Dsc. André Luis Rossa
Centro Universitário Univates

Esp. Rodrigo Bertoldi
Engenheiro Civil

Lajeado, 29 de junho de 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha esposa Charlene pelo apoio, incentivo e amor incondicional concedido durante todo o período de estudos. Aos meus pais e irmãos, sogros e cunhados pelo apoio e que por muitas vezes tiveram de aguardar ou se privaram de minha presença para que alcançasse meu objetivo. Aos amigos que sempre souberam esperar e compreenderam a ausência. Aos mestres que se empenharam em ensinar, cativaram e cultivaram o conhecimento. Aos orientadores, Paulo Fernando Salvador, que tanto engrandeceu com seus ensinamentos e, ao João Batista Gravina, que durante todo o período da faculdade auxiliou, incentivou e orientou-me.

A todos dedico a conquista do título de Engenheiro Civil.

" Os que são loucos o suficiente para pensarem que podem mudar o mundo,
são os que o fazem."

Steve Jobs

RESUMO

Através da utilização de métodos de cálculo cada vez mais avançados, auxiliados por programas computacionais, o uso de peças de concreto armado mais esbeltas, os apoios extremos simples em um sistema composto de viga apoiada em outras vigas estreitas representam um desafio adicional aos profissionais tanto no cálculo, como no detalhamento e execução.

Uma vez que os métodos de cálculo utilizados em software não são explícitos e as normas não abordam com clareza necessária a ancoragem da armadura em apoios estreitos, nem a solução prática adotada, os grampos, quando a ancoragem reta ou com gancho não é suficiente para absorver e transferir o esforço que solicita o apoio.

Assim, o presente trabalho objetiva contribuir com o estudo da ancoragem de barras de aço da armadura longitudinal tracionada de elementos fletidos de concreto armado em apoios extremos simples. Os resultados foram apresentados em 28 ábacos e 6 planilhas de grampos e servirão de material de consulta para solucionar a ancoragem das referidas armaduras nos apoios, com emprego acadêmico e profissional.

Palavras Chave: Concreto Armado; Ancoragem de Armaduras, Apoios Extremos Simples.

ABSTRACT

Throughout the use of more and more advanced calculation methods, which are supported by computer programs, the use of slimmer reinforced concrete and the ordinary edge supports on a system made of beam laid on other slim beams represents an extra challenge to professionals as far as the calculus, as well as on the detailing and implementation.

Once the calculations methods on software are not clear and the norms do not clearly approach the necessary frame anchoring on narrow supports, nor the adopted practical solution, the anchoring steel staples, with the anchoring either straight or as a hook, are not enough to absorb or transfer the stress that needs the supporting.

Therefore, this work contributes with the anchoring study of the steel bars from the longitudinal frame pulled on reinforced concrete flexed elements on ordinary edge supports. The results were presented on 28 abacuses and 6 clamp spreadsheets and will provide advising material to solve the anchoring of the mentioned frames on the supports, on both academic and professional use.

Key-Words: Reinforced Concrete; Frame Anchoring; Ordinary Edge Supports.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

IMAGEM 1 - Aderência por Adesão	24
IMAGEM 2 - Aderência por Atrito	24
IMAGEM 3 - Aderência Mecânica	25
IMAGEM 4 – Regiões de Boa e Má Aderência	26
IMAGEM 5 – Diagrama de Tensões de Aderência na Ancoragem Reta.....	27
IMAGEM 6 – Esforços de Ancoragem.....	31
IMAGEM 7 - Estabelecimento Do Modelo De Bielas E De Tirantes.....	32
IMAGEM 8 – Tipos de Ganchos.....	33
IMAGEM 9 - Deslocamento do Diagrama de Momento Fletor	35
IMAGEM 10 – Momento Fletor no Apoio Devido ao Deslocamento αl	37
IMAGEM 11 - Ancoragem Reta.....	40
IMAGEM 12 - Ancoragem Com Gancho	41
IMAGEM 13 - Ancoragem Com Gancho e Grampos.....	41
IMAGEM 14 - Vista superior - Disposição dos Grampos no Apoio.....	42
IMAGEM 15 - Ancoragem em Apoio Extremo com Grampos Sugerido por Bastos ..	44
IMAGEM 16 - Grampos de Ancoragem em Apoio Extremo	45
IMAGEM 17 - Potencial Superfície de Corte	46

IMAGEM 18 - Tabela de Combinação.....	56
IMAGEM 19 - Exemplo de Ábaco.....	57
IMAGEM 20 - Exemplo de Tabela com Tipo de Ancoragem	58
IMAGEM 21 - Exemplo de Tabela de Parâmetro de Grampos.....	59
IMAGEM 22 - Exemplo de Utilização do Gráfico.....	60
IMAGEM 23 - Exemplo de Utilização da Tabela de Grampos.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos Coeficientes γ_c e γ_s	30
Tabela 2 - Diâmetro dos Pinos de Dobramento	33
Tabela 3 - Carregamentos.....	49
Tabela 4 - Características Da Barras De Aço Entalhadas.....	69
Tabela 5 - Áreas das Armaduras e Largura Mínima da Viga (agregado $d_{\max}$ 19 mm)	70
Tabela 6 - Comprimento de Ancoragem Reta (cm).....	70
Tabela 7 - Comprimento de Ancoragem com Gancho (cm)	71
Tabela 8 - Combinação 1 – Fck 20 MPa – Apoio 13 cm	72
Tabela 9 - Combinação 2 - Fck 20 MPa – Apoio 15 cm	73
Tabela 10 - Combinação 3 - Fck: 20 MPa – Apoio 18 cm	74
Tabela 11 - Combinação 4 - Fck: 20 MPa – Apoio 20 cm	75
Tabela 12 - Combinação 5 – Fck 25 MPa – Apoio 13 cm	76
Tabela 13 - Combinação 6 - Fck: 25 MPa – Apoio 15 cm	77
Tabela 14 - Combinação 7 - Fck 25 Mpa – Apoio 18 cm	78
Tabela 15 - Combinação 8 - Fck 25 MPa – Apoio 20 cm	79
Tabela 16 - Combinação 9 - Fck 30 MPa – Apoio 13 cm	80
Tabela 17 - Combinação 10 - Fck 30 MPa – Apoio 15 cm	81

Tabela 18 - Combinação 11 - Fck: 30 MPa – Apoio 18 cm	82
Tabela 19 - Combinação 12 - Fck 30 MPa – Apoio 20 cm	83
Tabela 20 - Combinação 13 - Fck 35 MPa – Apoio 13 cm	84
Tabela 21 - Combinação 14 - Fck 35 MPa – Apoio 15 cm	85
Tabela 22 - Combinação 15 - Fck 35 MPa – Apoio 18 cm	86
Tabela 23 - Combinação 16 - Fck 35 MPa – Apoio 20 cm	87
Tabela 24 - Combinação 17 - Fck 40 MPa – Apoio 13 cm	88
Tabela 25 - Combinação 18 - Fck 40 MPa – Apoio 15 cm	89
Tabela 26 - Combinação 19 - Fck 40 MPa – Apoio 18 cm	90
Tabela 27 - Combinação 20 - Fck 40 MPa – Apoio 20 cm	91
Tabela 28 - Combinação 21 - Fck 45 MPa – Apoio 13 cm	92
Tabela 29 - Combinação 22 - Fck 45 MPa – Apoio 15 cm	93
Tabela 30 - Combinação 23 - Fck 45 MPa – Apoio 18 cm	94
Tabela 31 - Combinação 24 - Fck 45 MPa – Apoio 20 cm	95
Tabela 32 - Combinação de Grampo FCK 20 Mpa	96
Tabela 33 - Combinação de Grampo FCK 25 Mpa	97
Tabela 34 - Combinação de Grampo FCK 30 Mpa	97
Tabela 35 - Combinação de Grampo FCK 35 Mpa	97
Tabela 36 - Combinação de Grampo FCK 40 Mpa	97
Tabela 37 - Combinação de Grampo FCK 45 Mpa	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de normas Técnicas

a_ℓ – Deslocamento do Diagrama de Momento Fletor

A_s – Área de Aço

$A_{s,anc}$ - Área de aço da Ancoragem

$A_{s,calc}$ - Área de aço Calculada

$A_{s,ef}$ - Área de aço efetiva

$A_{s,gr}$ - Área de Aço do Grampo

$A_{s,apoio}$ - Área de Aço no Apoio

$A_{s,vão}$ - Área de Aço no Vão

b_w - Largura da Viga

c – Cobrimento

d – Altura total da Viga

f_{ck} - Resistência Característica à Compressão do Concreto

$f_{ct,m}$ – Resistência Média do Concreto à Tração

$f_{ctk,inf}$ – Resistência Característica Inferior À Tração Do Concreto

f_{ctd} - Resistência De Cálculo À Tração Do Concreto

f_{db} – Resistência Última de Aderência

f_{sd} – Força Concentrada de Projeto

f_{yd} – Resistência de Projeto do Aço

l_{disp} – Largura disponível no apoio

l_b – Comprimento Básico de Ancoragem

$l_{b,gr}$ – Comprimento de Ancoragem do Grampo

$l_{b,corr}$ – Comprimento de Ancoragem Corrigido

$l_{b,min}$ – Comprimento de Ancoragem Mínimo

$l_{b,nec}$ - Comprimento de Ancoragem necessário e mínimo

M_d - Momento Fletor Solicitante de Cálculo

$M_{d,apoio}$ Momento Fletor no Apoio

$M_{d,v\tilde{a}o}$ Momento Fletor no centro do Vão

MPa – Mega Pascal

η_1 – Coeficiente de Rugosidade da Barra de Aço

η_2 – Parâmetro de Posicionamento da Barra de Aço na Peça de Concreto

η_3 – Parâmetro de Diâmetro da Barra de Aço

NBR – Norma Brasileira

N_{sd} – Força Normal Solicitante de Cálculo

R_s – Força de Tração

R_{sd} – Força de Tração de Cálculo na Armadura

R_{st} - Força de Tração Solicitante no Apoio

V_c – Contribuição da Diagonal do Concreto

V_s - Esforço Cortante

$V_{sd,max}$ - Esforço cortante Máximo de Projeto

Z - Braço de Alavanca

α - Coeficiente de Ponderação de Esforços

$\emptyset$ - Diâmetro da Barra de Aço

$\emptyset_{gr}$ - Diâmetro da Barra de Aço do Grampo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 TEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 OBJETIVO GERAL	19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	20
1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 ADERÊNCIA	22
2.2 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA	26
2.3 ANCORAGEM	30
2.3.1 ANCORAGEM RETA	31
2.3.1.1 CONCEITO DE BIELAS E TIRANTES	31
2.3.2 ANCORAGEM COM GANCHOS DE EXTREMIDADE	33
2.3.3 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM BÁSICO	34
2.3.4 COMPRIMENTO DE ANCORAGEM NECESSÁRIO	34
2.3.5 DESLOCAMENTO DO DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR A_t	35

2.3.6 ANCORAGEM NOS APOIOS EXTREMOS	36
2.3.7 SOLUÇÕES DE ANCORAGEM EM APOIOS EXTREMOS E ESTREITOS	40
2.3.7.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE GRAMPOS PROPOSTO POR BASTOS	43
2.3.7.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE GRAMPOS PROPOSTO POR ARAÚJO	44
2.3.7.3 MÉTODO DE CÁLCULO DE GRAMPOS PROPOSTO POR MATTOS	45
3. MÉTODO DE PESQUISA	47
3.1 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DEFINIÇÃO DA ANCORAGEM DA ARMADURA POSITIVAS E GRAMPOS EM APOIOS EXTREMOS SIMPLES	47
3.2 DESENVOLVIMENTO DE PLANILHA ELETRÔNICA	50
3.2.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE BASTOS (2006)	51
3.2.2 MÉTODO DE CÁLCULO DE ARAÚJO (2010)	51
3.2.3 MÉTODO DE CÁLCULO DE MATTOS (2010)	52
3.3 EXTRAÇÃO DAS TABELAS DE CONSULTA	53
4 RESULTADOS DO ESTUDO	55
4.1 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO	55
4.2 EXTRAÇÃO DAS TABELAS DE CONSULTA	55
4.3 GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS ÁBACOS DE CONSULTA	57
4.4 GERAÇÃO DAS TABELAS DE GRAMPOS	59
4.3 EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO	60
5. CONCLUSÃO.....	63
6. BIBLIOGRAFIA	66
APÊNDICES.....	68
APÊNDICE A – TABELAS AUXILIARES	69
APÊNDICE B – ÁBACOS DE ANCORAGEM.....	72
APÊNDICE C – TABELAS DE GRAMPOS.....	96

1 INTRODUÇÃO

Com a introdução do concreto para a concepção de estruturas, conforme Leonhardt e Monnig (2007), em meados do Século XIX na França, introduziu-se barras de aço em peças de concreto, formando o que hoje conhecemos como concreto armado.

Conforme Assis Júnior (2005) nas ligações das estruturas de concreto surgiam fissuras, que durante muito tempo eram tidas como prejudiciais, pois acreditava-se que provocariam a corrosão das barras, retardando assim a utilização do concreto armado, quando bem dimensionado, com armadura bem distribuída a fissuração é normal desde que dentro de níveis aceitáveis, e a corrosão não ocorre pois são fissuras capilares superficiais.

Estas ligações eram tidas como simples prolongamentos da estrutura suportadas pelos apoios e, conforme Assis Júnior (2005) acreditava-se que o comportamento das estruturas fosse uniforme e invariável.

Com o passar do tempo, percebeu-se que, mesmo a estrutura estando corretamente dimensionada, ocorria fissuração excessiva no ponto de encontro destes elementos, ou mesmo levando a estrutura ruína, por causa desta ligação. Assim, o problema das fissuras na ligação dos elementos vigas-vigas e vigas-pilares, motivou o surgimento de estudos para esclarecer o fluxo de tensões a que são submetidos os componentes, a fim de obter arranjos de armadura que fossem mais eficientes no combate à fissuração.

Durante as pesquisas observou-se que a ancoragem executada conforme as orientações da NBR 6118/2014, é fundamental para a distribuição das tensões e

manutenção da ligação dos elementos, sendo então sua incorreta execução, a geradora de fissuras e ruína das ligações.

Nas estruturas de concreto armado, a ancoragem tem como função, a solidarização e a transmissão dos esforços entre dois elementos, tendo como função primordial do material, a solidarização de materiais diferentes como justificativa de existência.

Cabe ressaltar que o concreto é o responsável pelo suporte e distribuição das tensões de compressão enquanto o aço tem como função a resistência dos esforços de tração.

Conforme a NBR 6118/2014, a ancoragem pode ser reta ou em curva (gancho). Na ancoragem reta, os esforços são transmitidos da barra de aço ao concreto por tensões tangenciais e na ancoragem curva as solicitações são transmitidas ao concreto por compressão e uma pequena parte desta transmissão por esforço tangencial. Vale ressaltar que em trechos curvos, onde há acúmulo de tensão normal no concreto, esta favorece o aumento da capacidade de ancoragem.

O comprimento de ancoragem é determinado por vários fatores, sendo os principais a resistência do concreto e da armadura, a rugosidade do fio de aço, a posição e conformação da armadura, dimensões dos elementos e as cargas atuantes.

Desta forma, evidencia-se a razão e a importância deste estudo, sobre as condições que devem ser satisfeitas, para que as armaduras possam absorver, conduzir e transmitir corretamente as tensões para a superestrutura que se encarregará de equilibrar todas as forças, levando-as às fundações.

Verifica-se que nas edificações, de cunho residencial e comercial, as vigas seguem um padrão bastante rígido, sob o ponto de vista arquitetônico, situando-se exatamente abaixo de paredes, muitas vezes seguindo a espessura destas.

Assim, a ancoragem disponível ou adotada, pode não contemplar a necessidade da solicitação. Em função de vigas estreitas e baixas, a área de aço necessária para garantir a ancoragem da diagonal de compressão para resistir à força de tração (R_{st}) pode não ser suficiente, sendo necessário a utilização de outras formas ou meios de ancoragem (ganchos, placas) para suprir totalmente a demanda de solicitações.

1.1 Tema e definição do Problema

A ancoragem tem função primordial de efetuar a ligação entre os mais diversos elementos de concreto armado, sendo a ancoragem regida por normas e técnicas. Neste contexto, o presente estudo busca resposta ao seguinte questionamento: tendo em vista a utilização de vigas baixas e estreitas apoiadas entre si, como será efetuada a ancoragem da armadura positiva, em apoios extremos simples quando a ancoragem reta ou com gancho não for suficiente para transferir na totalidade os esforços em que a viga submete o apoio?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar como será efetuada a ancoragem da armadura positiva em apoios extremos simples de vigas, quando o apoio não possuir largura suficiente para ancorar a área de aço para transferir o esforço ao qual a viga é submetida.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente estudo são:

- Estudar o comportamento das ligações em concreto armado;
- Estudar a ancoragem e sua função dentro das ligações de elementos de concreto armado;
- Compreender a interação de forças que solicitam as ligações entre os elementos e a armadura;
- Formular ferramentas de projeto para consulta, válidas para o ambiente acadêmico e profissional.

1.3 Justificativa e Relevância do trabalho

A partir da verificação das dimensões de vigas em projetos arquitetônicos de edificações convencionais, percebe-se que quando o apoio possui largura insuficiente para ancorar a armadura de flexão de uma viga, a norma regulamentadora NBR 6118/2014 não possui solução alternativa a não ser o aumento da largura do apoio, que em muitos casos é inviável por motivos diversos, geralmente associados à arquitetura.

No que diz respeito à ancoragem das armaduras positivas das vigas em outras vigas ditas simplesmente apoiadas, este é um ponto vital para a qualidade e manutenção da estrutura de concreto armado e para a segurança e habitabilidade da mesma.

Assim, em função das dimensões dos elementos e das solicitações sobre eles, podem ocorrer congestionamentos de armaduras na região de encontro das peças, onde podem ocorrer dificuldades durante a concretagem, diminuindo a qualidade da ligação e deficiência na ancoragem pois as barras da armadura não serão corretamente envoltas pelo concreto, sendo então relevante o tema abordado, porque trata da segurança e qualidade da edificação.

1.4 Delimitação do Estudo

O estudo delimita-se em avaliar a ancoragem da armadura positiva de vigas em apoios extremos simples de concreto armado sujeitos a esforços simples de tração e compressão.

Este estudo delimita algumas classes de concreto (F_{ck} 20, 25, 30, 35 e 40 e 45 MPa), assim como largura das vigas de apoio (13, 15, 18 e 20 cm) e a quantidade de armadura que chega aos apoios, sem o dimensionamento a flexão dos elementos (vigas e apoio).

1.5 Estrutura do Trabalho

O Trabalho de Conclusão de Curso foi estruturado em cinco capítulos, apresentado resumidamente a seguir:

- O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que será de fundamental importância para a compreensão do assunto, apresenta-se os aspectos básicos da ancoragem, aderência entre concreto e barras de aço, outras influências sobre o comportamento da ancoragem e os tipos de ancoragem mais comuns a serem empregados em edificações;

- O Capítulo 3 apresenta os métodos de pesquisa e práticas utilizados para o desenvolvimento do trabalho e elucidação do assunto proposto;

- O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos durante o processo de pesquisa, assim como as técnicas e métodos estudados e comparados para que se chegasse à conclusões sobre o tema;

- O Capítulo 5 apresenta as conclusões sobre o estudo e as propostas para próximos estudos;

- O Apêndice A apresenta as tabelas auxiliares utilizadas na elaboração do estudo;

- O Apêndice B apresenta os Ábacos de Ancoragem gerados como material de consulta do presente trabalho;

- O Apêndice C apresenta as Tabelas de Grampos geradas, que complementam a utilização dos Ábacos de Ancoragem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aderência

A aderência, conforme Pinheiro e Muzardo (2003), definida como a força ou tensão que impede o escorregamento de uma barra de aço em relação ao concreto que a envolve, fazendo com que estes dois materiais trabalhem conjuntamente.

Fusco (1995) considera que a solidarização entre o concreto e o aço, impede que haja o escorregamento relativo entre a armadura e o concreto que o envolve, criando a capacidade peculiar do comportamento do concreto armado.

Leonhardt e Moning (2008) afirmam que através da aderência, garante-se que a armadura como um todo apresente um alongamento igual ao das fibras vizinhas de concretos armado.

De acordo com Leonhardt e Moning (2008), o concreto pode absorver a força de tração, mas começa a fissurar sob pequenas solicitações. Conforme NBR 6118/2014, cerca de 10% da resistência à compressão. Então as barras da armadura devem absorver este esforço e, através da aderência, manter o conjunto praticamente intacto, somente com algumas fissuras capilares.

Montoya, Messeguer e Cabré (2001), afirmam que se a aderência não existisse, as barras de aço seriam incapazes de absorver o menor esforço de tração que lhe fosse solicitado, o aço deslizaria dentro da cavidade de concreto sem a menor resistência não suportando às deformações do concreto, levando a peça ao aumento de fissuras e provável ruptura.

Montoya, Messeguer e Cabré (2001), consideram que a aderência cumpre fundamentalmente dois objetivos: assegurar a ancoragem das barras e transmitir as tensões tangentes periféricas que aparecem na armadura principal, resultantes das variações de sua tensão longitudinal.

Portanto pode-se definir a aderência como a solidarização entre o concreto e o aço, sendo que a união destes materiais de diferentes naturezas produz um fenômeno de transferência de tensões que garante a compatibilidade de deformações entre a armadura e as fibras vizinhas de concreto (Carvalho e Pinheiro, 2013).

As tensões de aderência aparecem desde que ocorra uma variação das tensões no aço. Conforme Leonhardt e Monnig (2007), as causas podem ser as seguintes:

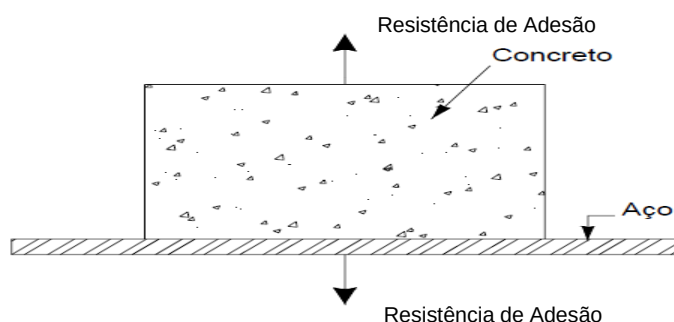
- As cargas influenciam alterações das tensões de tração ou compressão no aço;
- As fissuras que geram altas concentrações de tensões sobre a aderência na interface aço/concreto;
- As forças de ancoragem nos extremos das barras transfere as tensões do aço para o concreto;
- As variações de temperatura por causa da maior condutibilidade térmica do aço em relação ao concreto, especialmente em eventos extremos, como em casos de incêndio;
- A retração de concreto é impedida pela armadura, provocando tração no concreto e compressão na armadura;
- A deformação lenta do concreto em peças comprimidas, como o caso de pilares. Devido ao encurtamento provocado, as barras da armadura acabam recebendo tensões de compressão oriundas da carga da edificação.

Montoya , Messeguer e Cabré (2001) afirmam que o fenômeno da aderência é originado por causa de natureza físico-química e de natureza mecânica.

As causas físico-químicas provocam a adesão do aço com o concreto através de forças capilares e moleculares desencadeadas na interface entre os elementos, como se o aço “absorvesse” pasta de cimento, auxiliado pelo fenômeno da retração.

Leonhardt e Monnig (2007) afirmam que este tipo de adesão depende do estado da superfície das armaduras, que isoladamente não garante boa ligação pois é facilmente desconstituída por pequenos deslocamentos.

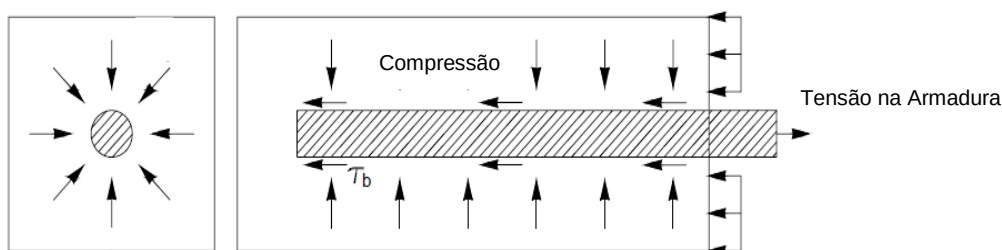
IMAGEM 1 - Aderência por Adesão



Fonte: Fusco (1995).

Fusco (1995) afirma que nas barras lisas, em virtude das forças físico-químicas que surgem na interface aço / cimento durante a ação de forças de tração, o atrito entre os materiais pode ser bastante intenso e favorece a solidarização dos materiais. Conforme Leonhardt e Monnig (2007), após rompida a aderência por adesão, surge a aderência por atrito, desde que existam tensões transversais sobre as armaduras, ou seja, sempre que ocorrer fissuras no concreto.

IMAGEM 2 - Aderência por Atrito



Fonte: Fusco (1995).

Nos processos de aderência, os fenômenos de natureza física têm muito mais importância do que os de natureza química, pois criam, a partir da penetração da pasta de cimento do concreto entre as reentrâncias das barras corrugadas de aço, a resistência ao deslizamento.

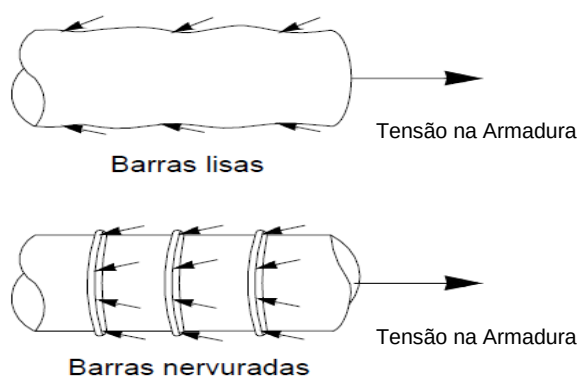
Montoya, Messeguer e Cabré (2001), afirmam ainda que nas barras de aço corrugadas surge um efeito de encunhamento entre as nervuras e o concreto dando origem às bielas de compressão no concreto.

Leonhardt e Monnig (2007) afirmam que através do engrenamento mecânico entre a superfície corrugada da armadura e o concreto, formam-se consolos de concreto, que são solicitados por tensões cortantes antes de permitir o deslizamento no interior da peça de concreto.

A resistência ao corte, conforme Leonhardt e Monnig (2007), é o tipo de ligação mais efetiva e confiável sendo indispensável para o melhor aproveitamento das elevadas resistências do aço. Obtêm-se este tipo de ligação via aplicação de barras corrugadas (nervuradas), sendo o valor da resistência por aderência mecânica depende da forma e inclinação das nervuras, além da altura e distância livre entre elas.

A NBR 6118/2014 também especifica que a aderência está diretamente ligada ao tipo de superfície resistente que a barra de aço possui podendo ser lisa, entalhada ou nervurada, sendo que os entalhes, ou nervuras, são as responsáveis pelas características aderentes por parte do aço.

IMAGEM 3 - Aderência Mecânica



Fonte: Fusco (1995).

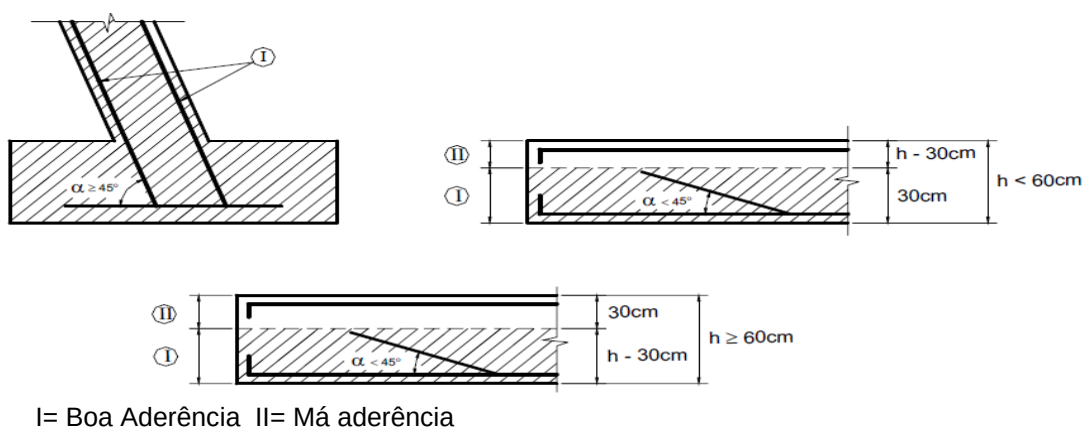
2.2 Resistência de Aderência

A determinação da resistência de aderência entre o concreto e a armadura é importante e necessário, conforme NBR 6118/2014, ao cálculo de comprimento da ancoragem. A resistência da aderência, conforme Araújo (2010) é dependente de fatores como a resistência do concreto, rugosidade superficial da barra, posição da armadura inserida na massa de concreto e do diâmetro da barra.

Carvalho e Pinheiro (2013), em acordo à NBR 6118/2014, afirmam que em casos de concretagem sobre formas fixas e os trechos das barras sejam alocadas nas posições descritas abaixo, serão considerados de boa aderência:

- a) com inclinação maior que 45° sobre a horizontal;
- b) horizontais ou com inclinação menor que 45° sobre a horizontal, desde que:
 - para elementos estruturais com $h < 60$ cm, localizados no máximo 30 cm acima da face inferior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima;
 - para elementos estruturais com $h \geq 60$ cm, localizados no mínimo 30 cm abaixo da face superior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima.

IMAGEM 4 – Regiões de Boa e Má Aderência

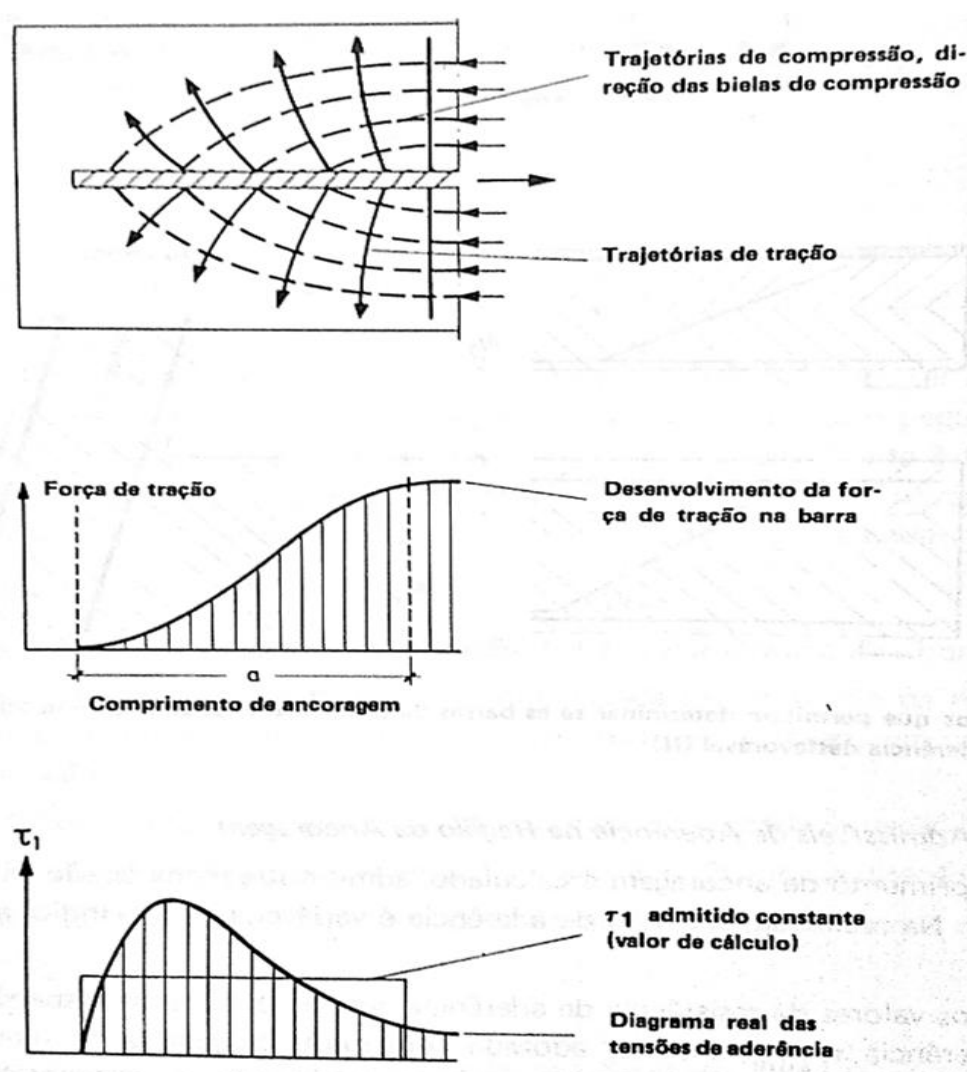


Fonte: Bastos (2006).

Os trechos das barras em outras posições e quando do uso de fôrmas deslizantes devem ser considerados em má situação quanto à aderência.

Na região da ancoragem surgem tensões principais de tração e de compressão, cujas trajetórias são apresentadas na imagem 5, compondo desta forma as bielas de compressão em concreto e tirantes de tração, composto por barras de aço.

IMAGEM 5 – Diagrama de Tensões de Aderência na Ancoragem Reta



Fonte: Leonhardt e Monnig (2007).

As tensões de compressão, segundo Araújo (2010), são necessárias ao equilíbrio e propagam-se pelo concreto a partir da extremidade da armadura, na

direção transversal à armadura surgem tensões de tração, cujo resultado é denominado de esforço de fendilhamento.

Conforme Bastos (2006) e Leonhardt e Monnig (2007) a distribuição das tensões da aderência sobre o comprimento de ancoragem tem comportamento não linear. Para aplicação prática, deve-se considerar uma tensão média de valor constante obtida segundo NBR 6118/2014 pela equação 01.

$$f_{db} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd} \quad (01)$$

Onde η_1 é o parâmetro que considera a rugosidade da barra de aço;

$\eta_1 = 1,0$, para barras lisas;

$\eta_1 = 1,4$, para barras entalhadas;

$\eta_1 = 2,25$, para barras nervuradas;

Onde η_2 é o parâmetro que considera a posição da barra durante a concretagem:

$\eta_2 = 1,0$, para situações de boa aderência;

$\eta_2 = 0,7$, para situações de má aderência;

Onde η_3 é o parâmetro que considera o diâmetro da barra de aço;

$\eta_3 = 1,0$, para $\varnothing^* < 32$ mm;

$\eta_3 = (132 - \varnothing^*)/100$, para diâmetros > 32 mm

* $\varnothing$ é o diâmetro da barra, expresso em milímetros (mm).

O valor de f_{ctd} é o resultado do cálculo da resistência à tração do concreto e é dado pela equação 02.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (02)$$

O Valor de $f_{ctk,inf}$ é definido como:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (03)$$

E o valor de $f_{ct,m}$ é definido como:

$$f_{ct,m} = f_{ck}^{\frac{2}{3}} \quad (04)$$

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto, expressa em mega Pascal (mPa).

Segundo a NBR 6118/2014, a resistência de cálculo dos materiais (f_d) é definida através de razão entre a resistência característica (f_k) e o coeficiente de ponderação da resistência (γ_f), expressa pela equação 05;

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_f} \quad (05)$$

Deste modo, a resistência de cálculo do concreto (f_{cd}), é definida pela NBR 6118/2014, para qualquer classe de resistência, sendo calculado pela equação 06, dividindo a resistência característica à compressão pelo coeficiente de ponderação do concreto (γ_c) definido na Tabela 01.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (06)$$

Da mesma forma, para o aço, a resistência de cálculo (f_{yd}) é definida pela equação 07. Segundo a NBR 7480/2007, a resistência característica de escoamento do aço (f_{yk}) é definida conforme a categoria destes, sendo elas: CA25, CA 50, CA60 e apresentam resistência ao escoamento de 250, 500 e 600 MPa, respectivamente. O coeficiente de ponderação do aço (γ_s) é definido pela Tabela 01, a qual também é apresentada na NBR 6118/2014.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (07)$$

Tabela 1 - Valores dos Coeficientes γ_c e γ_s

Combinações	Concreto (γ_c)	Aço (γ_s)
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de Construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

FONTE: NBR 6118/2014.

2.3 Ancoragem

De acordo com a NBR 6118/2014, todas as barras da armadura devem ser ancoradas de modo que os esforços aos quais estejam submetidas as peças sejam integralmente transferidos ao concreto, seja pela aderência do concreto ao aço, de outros dispositivos mecânicos ou pela combinação de ambos

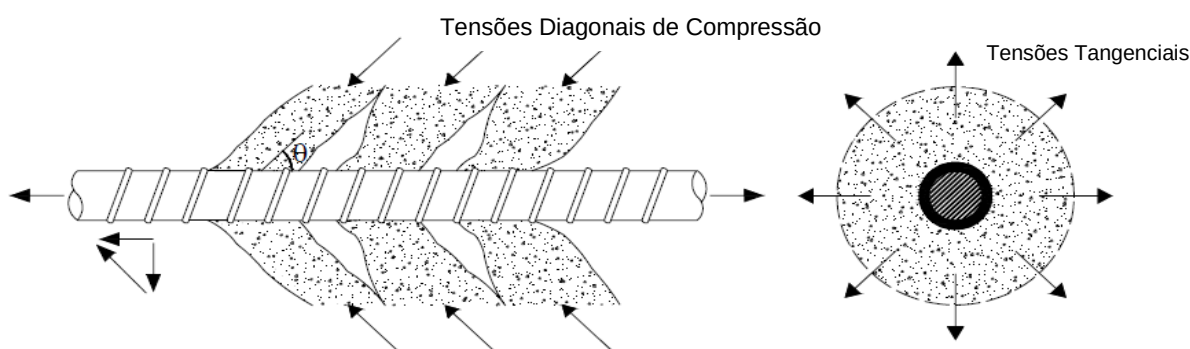
A ancoragem por aderência pode ser transferida ao concreto por meio de comprimento de ancoragem reto, ou com grande raio de curvatura, seguido ou não por gancho, conforme detalhado na NBR 6118/2014.

2.3.1 Ancoragem Reta

De acordo com Fusco (1995), nas barras nervuradas ancoradas com extremidade reta, as tensões de ancoragem são transmitidas ao concreto e, quando atingida resistência última, a transferência é feita a partir de bielas comprimidas de concreto, que são delimitadas pela fissuração causada pelas tensões transversais de tração que podem ocasionar o fendilhamento do concreto em paralelo à barra de aço.

Assim, para que essas tensões sejam atenuadas deve existir compressão transversal ao eixo da barra, favorecendo a aderência e garantindo a integridade das bielas comprimidas.

IMAGEM 6 – Esforços de Ancoragem



Fonte: Fusco (1995).

2.3.1.1 Conceito de Bielas e Tirantes

Conforme trabalho de Campos Filho (1996), o método de cálculo de bielas e tirantes baseia-se nos caminhos por onde os esforços de tração e compressão seguirão dentro da peça até os apoios ou locais de transferência destas forças.

As bielas de compressão são os caminhos preferenciais dos esforços dentro das estruturas de concreto e, para resistir às solicitações, deve existir quantidade suficiente de concreto dissipando e carregando a compressão entre os pontos da peça

Os tirantes são os caminhos preferenciais dos esforços de tração simples dentro da peça e devem possuir área de aço suficiente para resistir às solicitações e descarregando todo esforço via ancoragem em zonas de compressão.

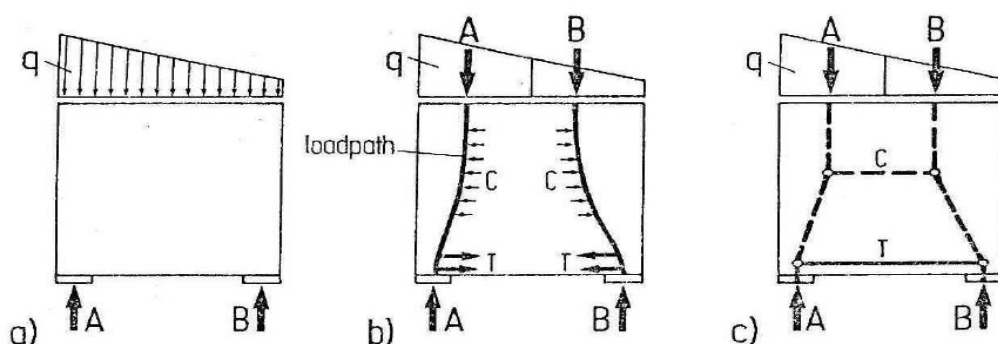
Fusco (1995) afirma que quando um problema for muito complexo cabe inicialmente fazer a determinação de um campo de tensões em regime elástico. A partir da determinação do campo de tensões pode ser idealizado um sistema isostático de bielas e tirantes que substituam adequadamente o verdadeiro panorama de esforços.

Campos Filho (1996) afirma ainda que para a simplificação do método todas as bielas e tirantes são tratadas como barras que reagem à tração e compressão e são interligadas por nós que promovem a mudança de direção e a ligação das diferentes barras, levando-as aos apoios.

As seções críticas conforme Fusco (1995) encontram-se sempre junto aos nós das bielas, uma vez que, pela dissipação das forças, tendem a diminuir à medida que se afastam dos nós.

Araújo (2010) e Fusco (1995) afirmam ser um método empírico, pois deve-se conhecer previamente a peça, seus carregamentos, e as características dos materiais empregados e dos apoios para a transferência dos esforços e confecção do modelo análogo de treliças.

IMAGEM 7 - Estabelecimento Do Modelo De Bielas E De Tirantes



(a) a estrutura e suas cargas; (b) o fluxo de forças no interior da estrutura; (c) o modelo de bielas e tirantes correspondente

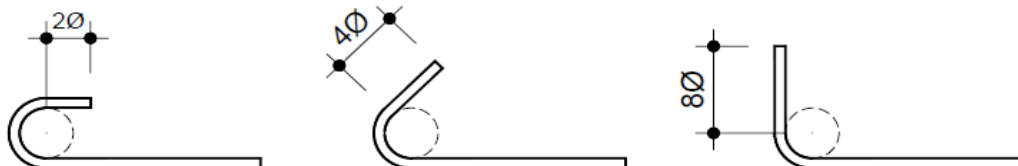
FONTE: Campos Filho (1996).

2.3.2 Ancoragem com Ganchos de Extremidade

Conforme Araújo (2010), uma maneira eficiente de reduzir o comprimento de ancoragem consiste basicamente no emprego de barras com ganchos de extremidade, obtendo, de acordo com Fusco (1995), uma eficiente solidarização entre a barra tracionada e o concreto por meio das pressões de contato no trecho curvo da barra. Araújo (2010) afirma que as tensões são transmitidas ao concreto pelo trecho reto tracionado e pelo trecho em curva, onde o trecho após a dobra do pino tem pouca influência sobre a resistência. Porém a NBR 6118/2014 estabelece três tipos de ganchos nas extremidades das barras longitudinais à tração, que são:

- os semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta não inferior a 8ϕ .

IMAGEM 8 – Tipos de Ganchos



FONTE: Adaptação da NBR 6118(2014)

A tabela 2 apresenta os diâmetros dos pinos de dobra mínimos para dobramento dos ganchos de armadura, conforme NBR 6118/2014, em função do tipo do aço.

Tabela 2 - Diâmetro dos Pinos de Dobramento

Bitola (mm)	Tipo de Aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
$\phi < 20$	4 ϕ	5 ϕ	6 ϕ
$\phi \geq 20$	5 ϕ	8 ϕ	-

FONTE: Adaptação da NBR 6118/2014.

2.3.3 Comprimento de Ancoragem Básico

O comprimento de ancoragem básico de uma barra reta é definido como o comprimento reto de uma barra de armadura passiva necessário para ancorar a força limite $R_s = A_s \times f_{yd}$ nessa barra, admitindo, ao longo desse comprimento, resistência de aderência uniforme e igual a f_{db} . O comprimento básico da ancoragem (ℓ_b) é dado pela equação 08.

$$\ell_b = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{db}} \leq 25 \emptyset \quad (08)$$

Desta Forma, Pinheiro e Muzardo (2003) afirmam que a partir do ponto em que a barra não for mais necessária, basta assegurar a existência de um comprimento de aço que garanta a transferência das tensões existentes sobre o aço para o concreto.

2.3.4 Comprimento de Ancoragem Necessário

Conforme Araújo (2010) quando a área de aço efetivamente adotada no projeto ($A_{s,ef}$) for superior à área de aço exigida em cálculo ($A_{s,calc}$) o comprimento de ancoragem pode ser reduzido, já que a tensão na armadura é inferior à tensão de escoamento. Desta forma pode-se reduzir o comprimento de ancoragem na mesma proporção. A NBR 6118/2014 define equação conforme segue:

$$\ell_{b,nec} = \alpha \ell_b \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq \ell_{b,min} \quad (09)$$

Onde α representa um coeficiente de minoração do comprimento de ancoragem e tem a seguinte correspondência;

$$\alpha = 1,0 \text{ para barras sem ganchos}$$

$\alpha = 0,7$, para barras tracionadas com ganchos e cobrimento normal ao do gancho com cobrimento $\geq 3\varnothing$.

Assim, a NBR 6118 (2014) define o comprimento mínimo de ancoragem como $\ell_{b,min}$, conforme equação 10.

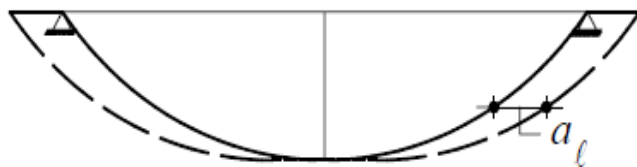
$$\ell_{b,nec} \geq \ell_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 l_b \\ 10 \varnothing \\ 10 \text{ cm} \end{cases} \quad (10)$$

Montoya, Messeguer e Cabré (2001) estabelecem que o $\ell_{b,min}$, como o maior valor entre $0,33 \ell_b$, $10\varnothing$ e 150 mm , tendo assim, uma margem mais conservadora em caso de falhas no dimensionamento.

2 3.5 Deslocamento do Diagrama de Momento Fletor a_ℓ

A norma NBR 6118/2014 estabelece que o deslocamento do diagrama de momentos fletores a_ℓ para dentro da seção de apoio, no sentido mais desfavorável e paralelo ao eixo da peças, pode ser substituído pela decalagem aproximada do diagrama de momento fletores, conforme Imagem 9:

IMAGEM 9 - Deslocamento do Diagrama de Momento Fletor



FONTE: Araújo (2010)

Conforme NBR 6118/2014 quando a armadura longitudinal de tração for determinada através do equilíbrio de esforços, os efeitos provocados pela fissuração oblíqua podem ser substituídos no cálculo pela decalagem do diagrama de força no banzo tracionado, dada pela equação 11.

$$a_\ell = d \left| \frac{V_{sd,max}}{2(V_{sd,max} - V_c)} (1 + \cotg \alpha) - \cotg \alpha \right| \leq d \quad (11)$$

Onde:

$$a_\ell = d, \text{ para } V_{sd,max} \leq V_c$$

$$a_\ell \leq 0,5 d, \text{ no caso geral}$$

$$a_\ell = 0,2 d, \text{ para estribos inclinados a } 45^\circ$$

Deve-se considerar que α é o ângulo de inclinação da armadura transversal da peça (estribos) entre 45° a 90° .

O valor de V_c para a flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção é dado pela equação 12.

$$V_c = V_{c0} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad (12)$$

2.3.6 Ancoragem Nos Apoios Extremos

Apoio extremo, segundo Bastos (2006), pode ser definido como o apoio onde não ocorre a continuidade da viga, podendo ser ele o primeiro ou último.

A ancoragem da armadura longitudinal positiva nos apoios extremos das vigas, principalmente em apoios curtos, seja sobre vigas ou pilares, existe a possibilidade de rupturas diagonais da seção da viga sobre este apoio. Se torna importante para a segurança e, por este motivo, deve ser analisada verificando a armadura existente no apoio.

Fusco (1995) afirma que a análise deve ser minuciosa pois existe o risco de ruína em caso de subdimensionamento. Assim, deve-se garantir a solidarização do aço e do concreto mesmo que haja fenômenos de acomodação plástica da estrutura, com escoamento da armadura ocorrendo com tensão igual, pelo menos, à resistência característica superior do aço.

A NBR 6118/2014 estipula que os esforços de tração nos apoios das vigas devem ser resistidos por armaduras longitudinais que satisfaçam as mais severas condições.

Araújo (2010) afirma que em função das fissuras inclinadas, a força na armadura de tração da peça é proporcional ao momento fletor solicitante em uma seção de extremidade vizinha afastada a uma distância a_ℓ (deslocamento do momento fletor) que traciona a borda inferior do apoio, dado pela equação 13.

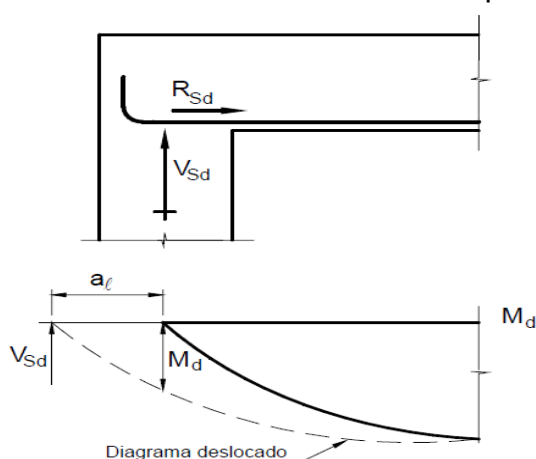
$$M_{d,apoio} = V_{sd} \cdot a_\ell \quad (13)$$

Onde V_{sd} é a força cortante solicitante de cálculo

Bastos (2006) pondera que a seção de apoio deve possuir armadura resistente a ser ancorada no apoio, tendo na equação de equilíbrio de forças, o momento fletor deve ser igual à resistência da armadura (R_{sd}) multiplicada pelo braço de alavanca (Z), conforme equação 14.

$$M_{d,apoio} = R_{sd} \cdot Z \quad (14)$$

IMAGEM 10 – Momento Fletor no Apoio Devido ao Deslocamento dl



Fonte: Bastos (2006).

Assim substituindo o braço de alavanca (Z) pela altura útil da viga d ($z \cong d$) e igualando as forças solicitantes no apoio com as forças resistentes no apoio encontra-se a equação 15.

$$R_{sd} \cdot Z = V_{sd} \cdot a_l \rightarrow R_{sd} = \frac{V_{sd}}{d} \cdot a_l \quad (15)$$

Entretanto, a NBR 6118/2014 impõe que para garantir a ancoragem da diagonal de compressão, parte da armadura deve ser prolongada até o apoio, sendo capaz de resistir à força de tração acrescida que eventualmente possa existir solicitando a viga no apoio (N_{sd}), conforme equação 16.

$$R_{sd} = \frac{V_{sd}}{d} \cdot a_l + N_{sd} \quad (16)$$

Assim a armadura longitudinal necessária para ancoragem no apoio extremo será dada pela equação 17.

$$A_{s,anc} = \frac{R_{sd}}{f_{yd}} \rightarrow A_{s,anc} = \frac{\left(\frac{V_{sd}}{d} \cdot a_l + N_{sd} \right)}{f_{yd}} \quad (17)$$

Pinheiro e Muzardo (2003), em consonância com a NBR 6118/2014 afirmam que, em apoios extremos e intermediários, por prolongamento de uma parte da armadura de tração do vão ($A_{s,v\tilde{a}o}$), corresponde ao máximo momento fletor positivo do tramo ($M_{v\tilde{a}o}$) de modo que;

- $A_{s,apoio} \geq 1/3 (A_{s,v\tilde{a}o})$ se M_{apoio} for nulo ou negativo e de valor absoluto (M_{apoio}) $\leq 0,5 M_{v\tilde{a}o}$;

- $A_{s,apoio} \geq 1/4 (A_{s,v\tilde{a}o})$ se M_{apoio} for negativo e de valor absoluto (M_{apoio}) $> 0,5 M_{v\tilde{a}o}$.

Bastos (2006) pondera que normalmente a área de armadura utilizada no apoio é diferente da área de armadura a ancorar. Assim, o comprimento de ancoragem básico deve ser corrigido proporcionalmente às áreas da armadura a ancorar ($A_{s,anc}$) e da armadura efetiva ($A_{s,ef}$).

Se a armadura de ancoragem efetiva ($A_{s,ef}$) for maior que a armadura de ancoragem necessária ($A_{s,anc}$), o comprimento de ancoragem básico ($\ell_{b,nec}$) será reduzido na razão entre área de aço de ancoragem de cálculo e a efetivamente utilizada. Entretanto, a armadura efetiva nunca poderá ser menor que a armadura a ancorar, pois esta é necessária para resistir à força de tração (R_{sd}) no apoio, dada pela equação 18.

$$\ell_{b,nec} = \alpha \ell_b \frac{A_{s,anc}}{A_{s,ef}} \quad (18)$$

A NBR 6118/2014 prescreve que quando a barra termina em gancho no apoio, devem ser verificadas as seguintes condições mínimas à partir da face do apoio, conforme equação 19:

$$\ell_{b,nec} \geq \ell_{b,min} \geq \begin{cases} r + 5,5 \varnothing \\ 6 \text{ cm} \end{cases} \quad (19)$$

Araújo (2010) pondera que o limite de $(r + 5,5 \varnothing)$ tem por finalidade garantir que o início da curva de dobramento do gancho esteja dentro da região de apoio e o trecho reto de ancoragem, exigido antes do início da dobra, tem a finalidade de evitar que o gancho atue à plena carga evitando-se assim o fendilhamento do concreto.

Araújo (2010) afirma ainda, que o gancho sozinho seria capaz de ancorar toda a força de tração (R_{sd}) em virtude da compressão transversal existente nos apoios.

Para determinar a largura disponível no apoio (ℓ_{disp}), conforme as contribuições de Bastos (2006) e da NBR 6118 (2014), adota-se a equação 20.

$$\ell_{disp} = b_w - c \quad (20)$$

Onde “ c ” é o cobrimento mínimo da armadura na extremidade, definido conforme classe de agressividade ambiental

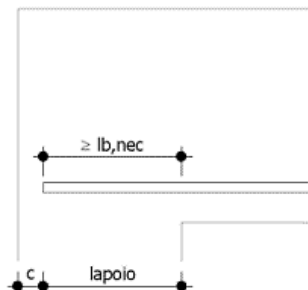
A NBR 6118/2014 estabelece que quando houver cobrimento da barra de ancoragem com gancho, medido normalmente ao plano do gancho com pelo menos 70 mm, e as ações acidentais não ocorram com grande frequência com seu valor máximo, a primeira das três condições anteriores ($\ell_{b,nec}$) Eq. 18) pode ser desconsiderada, restando somente duas condições.

2.3.7 Soluções de Ancoragem em Apoios Extremos e Estreitos

De acordo com Mattos (2010), existem quatro situações possíveis nos apoios extremos, que variam de acordo com o comprimento efetivo do apoio (ℓ_{disp}) e o comprimento de ancoragem da armadura ($\ell_{b,nec}$), sendo elas:

- 1- Quando o comprimento efetivo do apoio é maior que o comprimento de ancoragem necessário para barras reta ($\ell_{disp} > \ell_{b,nec}$), a ancoragem será efetuada por barras retas introduzidas diretamente no apoio;

IMAGEM 11 - Ancoragem Reta

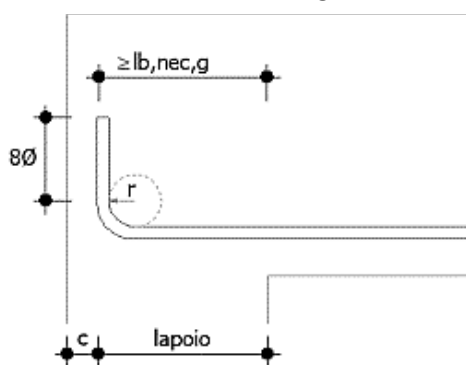


FONTE: Mattos (2010).

- 2- No caso em que o comprimento do apoio é menor do que o comprimento de ancoragem necessário, pode-se reduzir este comprimento de

ancoragem através da utilização de ganchos na extremidade das barras longitudinais, assim reduzindo o comprimento de ancoragem necessário ($\ell_{b,nec} > \ell_{disp} = \ell_{b,nec.g}$);

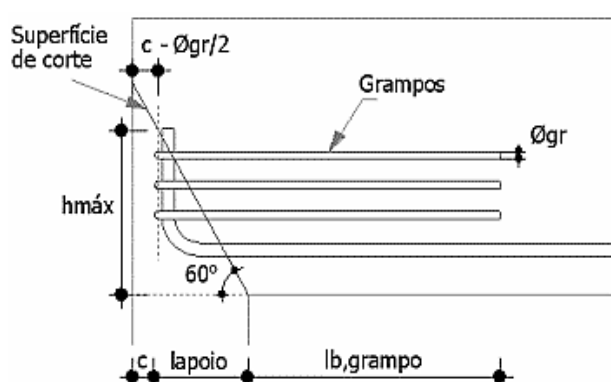
IMAGEM 12 - Ancoragem Com Gancho



FONTE: Mattos (2010).

- 3- Quando o comprimento efetivo do apoio é menor que o comprimento de ancoragem com adoção de ganchos mas maior que o comprimento de ancoragem mínimo ($\ell_{b,nec,g} > \ell_{disp} \geq \ell_{b,min}$), utiliza-se grampos complementares de ancoragem, com intuito de aumentar a armadura ancorada no apoio. Desta forma, reduz-se o comprimento de ancoragem para um valor igual ao disponível no apoio;

IMAGEM 13 - Ancoragem Com Gancho e Grampos

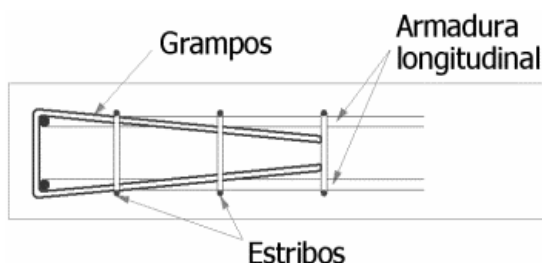


FONTE: Mattos (2010).

- 4- No caso em que o comprimento efetivo do apoio é menor que o comprimento de ancoragem mínimo das armaduras longitudinais ($\ell_{b,min} >$

ℓ_{disp}), tais armaduras não poderão ser consideradas para a ancoragem da viga no apoio extremos, devendo nesta situação, utiliza-se exclusivamente grampos para transferir as forças. Adotando-se a prescrição da NBR 6118/2014, quando o plano normal ao grampo é o plano vertical ao da viga, geralmente o cobrimento da barra é maior que 70 mm, assim, para o cálculo do comprimento mínimo da ancoragem dos grampos despreza-se $\ell_{b,nec}$ e utiliza-se somente as condições ($r + 5,5 \varnothing$ e 60 mm).

IMAGEM 14 - Vista superior - Disposição dos Grampos no Apoio



FONTE: Mattos (2010).

De acordo com Araújo (2010), quando o apoio de extremidade da viga for estreito, poderá resultar em um comprimento de ancoragem disponível, ou largura disponível do apoio para ancoragem (ℓ_{disp}) já dotado de gancho, menor do que o comprimento de ancoragem necessário ($\ell_{b,nec}$), não sendo possível nestas condições transferir a força resultante da tração na armadura para o concreto.

Bastos (2006) afirma que existem duas soluções para não alterar as dimensões do apoio, sendo que em ambas será aumentada a quantidade de armadura ancorada no apoio, mantidos os ganchos de extremidade.

A primeira das soluções propostas é o aumento da armadura longitudinal que chega ao apoio, para ($A_{s,corr}$) segundo a proporção entre o comprimento de ancoragem básico com gancho e o comprimento de ancoragem efetivo, de acordo com equação 21.

$$A_{s,corr} = \frac{\ell_b}{\ell_{b,disp} + 0,3 \cdot \ell_b} A_{s,calc} \quad (21)$$

Outra solução proposta, tanto por Bastos (2006) quanto por Araújo (2010), consiste na utilização de grampos adicionais, assim não seria alterada a armadura de flexão da viga, que poderia encarecer demasiadamente a armadura, mas tendo o mesmo objetivo de aumentar a área de armadura ancorada no apoio.

Neste ponto os autores divergem quanto ao método utilizado para o cálculo, a seguir estão apresentados os três métodos.

Não existem indicações bibliográficas a respeito do diâmetro da armadura do grampo a ser utilizado.

2.3.7.1 Método de Cálculo de Grampos Proposto por Bastos

O método de cálculo proposto por Bastos (2006) considera que a armadura longitudinal ($A_{s,corr}$) é reduzida da área de armadura efetivamente utilizada na flexão ($A_{s,ef}$) da peça, restando a área de aço que representa o grampo de ancoragem. Assim, a área necessária para os grampos é definida pela equação 22.

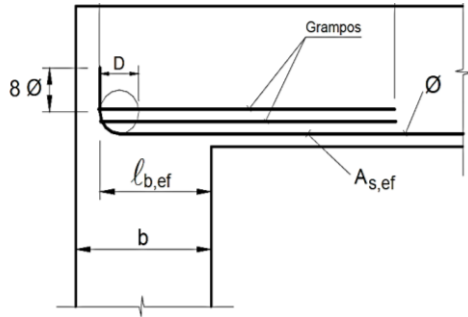
$$A_{s,grampo} = A_{s,corr} - A_{s,ef} \quad (22)$$

O comprimento longitudinal do grampo deve ser de no mínimo 100 vezes o diâmetro da barra utilizada no grampo, que satisfaça a necessidade de armadura adicional

Conforme o autor o espaçamento mínimo dos grampos deve respeitar os limites mínimos conforme equação 23.

$$espaçamento_{vertical} \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \emptyset_{grampo} \\ 0,5 D_{max,agr} \end{array} \right. \quad (23)$$

IMAGEM 15 - Ancoragem em Apoio Extremo com Grampos Sugerido por Bastos



FONTE: Bastos (2006)

2.3.7.2 Método de Cálculo de Grampos Proposto por Araújo

O método de dimensionamento dos grampos proposto por Araújo (2010) considera a força de tração sobre a armadura positiva, quando os grampos devem ser dimensionados para resistir à força mínima F_{sd} dada pela equação 24.

$$F_{sd} = R_{sd} \left(1 - \frac{\ell_{b,disp}}{\ell_{b,nec}} \right) \quad (24)$$

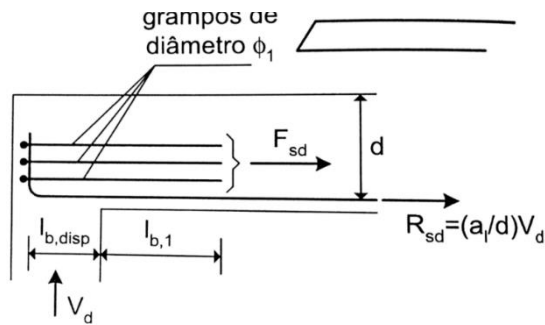
Onde R_{sd} é a força total na armadura longitudinal de tração que chega ao apoio. Assim, os grampos deverão ter área total $A_{s,gr}$, dada pela equação 25.

$$A_{s,gr} = \frac{F_{sd}}{f_{yd}} \quad (25)$$

O Comprimento de ancoragem dos grampos, é considerado a partir da face do apoio dado por $\ell_{b,gr}$, conforme equação 26, varia em função do diâmetro do grampo escolhido, deve ser acrescido comprimento de ancoragem disponível no apoio;

$$\ell_{b,gr} = \frac{\phi_{gr}}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{db}} \quad (26)$$

IMAGEM 16 - Grampos de Ancoragem em Apoio Extremo



FONTE: Araújo (2010).

2.3.7.3 Método de Cálculo de Grampos Proposto por Mattos

O método de cálculo sugerido por Mattos (2010) utiliza a metodologia de cálculo descrita abaixo.

$$A_{s,gr} = \frac{\alpha \ell_b \cdot A_{s,calc}}{l_{b,disp}} - A_{s,ef} \quad (27)$$

Quando não se pode contar com a armadura de flexão para o cálculo da armadura, onde o comprimento efetivo do apoio é menor que o comprimento de ancoragem mínimo das armaduras longitudinais ($\ell_{b,min} > \ell_{b,disp}$) deve-se utilizar a fórmula 28, onde não há o desconto da armadura de flexão que chega ao apoio.

$$A_{s,gr} = \frac{\alpha \ell_b \cdot A_{s,calc}}{l_{b,disp}} \quad (28)$$

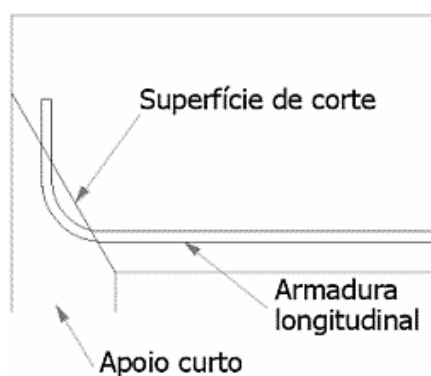
O número de camadas de grampos é obtido por:

$$N_{cam}^o = \frac{A_{s,gr}}{n_{ramos\ grampo} \cdot A_s} \quad (29)$$

Onde o número de ramos de um grampo corresponde a 2, formando uma peça em forma de “U” e A_s corresponde à área da seção transversal da armadura de um grampo.

Nenhuma camada de grampos poderá ser disposta acima de uma altura máxima obtida da consideração que a superfície de corte potencial tenha ângulo de 60º graus, saindo da face interna do apoio até a interseção do plano vertical do eixo dos grampos, sob a pena destes grampos não possuírem função nenhuma na ancoragem.

IMAGEM 17 - Potencial Superfície de Corte



FONTE: Mattos (2010).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram realizadas três etapas:

- Análise dos métodos de definição da armadura ativa de ancoragem e grampos;
- Desenvolvimento de planilha eletrônica com as restrições impostas pelos limitantes de projeto e pela limitação das variáveis;
- Criação das tabelas de consulta conforme combinações elencadas;
- Extração dos Ábacos de consulta;
- Criação da Tabela dos grampos.

3.1 Análise dos métodos de definição da ancoragem da armadura positivas e grampos em apoios extremos simples

Para a análise do método de definição de altura da armadura positiva em apoio extremos simples foram usados os métodos dos autores: Bastos (2006), Araújo (2010) e Mattos (2010), todos referenciados à NBR 6118/2014

Esta análise objetiva definir o método mais eficaz, buscando a otimização dos recursos materiais, assim como a mão-de-obra empregada. Ou seja, definir o método que obtém de maneira mais simplificada e segura a armadura de ancoragem e dos grampos quando necessários, obedecendo as restrições impostas pela NBR 6118/2014.

Inicialmente seria utilizado um binário (vão x carregamento) para se criar o carregamento que seria apoiado nos extremos das vigas. Entretanto, após várias análises, chegou-se à conclusão que muitos destes binários apresentariam carregamentos semelhantes, mas que para a confecção das planilhas gerariam transtornos desnecessários. Assim, através da Equação 30, que define o esforço cortante aplicado em cada um dos apoios de uma viga simplesmente apoiada, chega-se ao esforço cortante de projeto (V_{sd});

$$V_{sd} = 1,4 \frac{q \cdot l}{2} \quad (30)$$

Onde:

q = carregamento distribuído

l = vão

Como não está em estudo o dimensionamento da viga em si, tão somente o estudo dos apoios e da ancoragem da armadura neles empregada. Sabendo que o deslocamento do Momento fletor (al), leva em consideração, na sua composição, as dimensões da viga que será apoiada, e que no presente estudo criaria uma quantidade ainda maior que planilhas, pois exigiria que fosse levadas em consideração várias formas de vigas, que teriam variação de altura (bw) e largura (l).

Assim, o projetista, no uso de suas atribuições, deve adotar a força que solicita a viga e o apoio de acordo com seu dimensionamento, para utilizar o presente estudo para a solucionar o problema da ancoragem conforme a situação que mais lhe tiver semelhança.

Assim, elaborou-se a Tabela 3 apresentada a seguir:

Tabela 3 - Carregamentos

Vão (m)	Carga (kN)	Esforço Cortante (V) (kN)	Fator de Ponderação (γ_c)	Esforço Cortante de Projeto (Vsd) (kN)
2	10	10	1,4	14,00
2,5	10	12,5	1,4	17,50
3	10	15	1,4	21,00
3,5	10	17,5	1,4	24,50
4	10	20	1,4	28,00
4,5	10	22,5	1,4	31,50
5	10	25	1,4	35,00
5,5	10	27,5	1,4	38,50
6	10	30	1,4	42,00
2	15	15	1,4	21,00
2,5	15	18,75	1,4	26,25
3	15	22,5	1,4	31,50
3,5	15	26,25	1,4	36,75
4	15	30	1,4	42,00
4,5	15	33,75	1,4	47,25
5	15	37,5	1,4	52,50
5,5	15	41,25	1,4	57,75
6	15	45	1,4	63,00
2	20	20	1,4	28,00
2,5	20	25	1,4	35,00
3	20	30	1,4	42,00
3,5	20	35	1,4	49,00
4	20	40	1,4	56,00
4,5	20	45	1,4	63,00
5	20	50	1,4	70,00
5,5	20	55	1,4	77,00
6	20	60	1,4	84,00
2	25	25	1,4	35,00
2,5	25	31,25	1,4	43,75
3	25	37,5	1,4	52,50
3,5	25	43,75	1,4	61,25
4	25	50	1,4	70,00
4,5	25	56,25	1,4	78,75
5	25	62,5	1,4	87,50
5,5	25	68,75	1,4	96,25
6	25	75	1,4	105,00

Fonte: Tabela do Autor

Assim, através da análise dos diversos carregamentos que foram calculados, definiu-se que seriam adotados Esforços Cortantes de Projeto que iniciam-se em 10 kN, sofrendo acréscimo de 10 kN a cada simulação culminando em um carregamento de 190 kN.

A determinação da armadura necessária para ancoragem no apoio $A_{s,anc}$ deve se dar pela equação 17.

3.2 Desenvolvimento de planilha eletrônica

Após análise dos métodos para definição da ancoragem da armadura positiva em apoios extremos simples, foi programada uma planilha eletrônica para os comprimentos de ancoragem e outra para os grampos a serem adotados quando necessário.

Para determinar a ancoragem foi utilizado o método proposto pela NBR 6118/2014 para a verificação da necessidade de empregos de ancoragem adicional, os grampos conforme passos a seguir:

- a) Calcular a resistência de aderência f_{db} através da equação 01 com as características da classe do concreto adotado;
- b) Calcular do comprimento de ancoragem básico l_b através de equação 08;
- c) Calcular o comprimento de ancoragem necessário $l_{b,nec}$, através da equação 09, prestando atenção aos limites inferiores impostos pela NBR 6118/2014 definidos na equação 10, quando em ancoragem reta e, pela equação 19, quando a ancoragem for em gancho.
- d) Calcular a largura disponível no apoio para que seja efetuada a ancoragem através da equação 20 verificando se o comprimento de ancoragem disponível é suficiente para alojar o comprimento de ancoragem necessário, caso $l_{disp} > l_{b,nec}$, dando por satisfeita as condições de ancoragem, encerrando o processo de dimensionamento da ancoragem;

- e) Caso $l_{disp} < l_{b,nec}$, prossegue-se com o dimensionamento da ancoragem adicional;
- f) Calcular a área de armadura a ancorar, obtida a partir da equação 17, que divide a força solicitante da ancoragem pela resistência mecânica do aço;
- g) Os grampos a serem utilizados devem suprir as necessidades de armadura estabelecidas em cálculo e comprimento básico de ancoragem dos grampos (lb, gr) é idêntico ao adotado na armadura de ancoragem (lb). Somente a ancoragem dos grampos deve ser medida a partir da face interna dos apoios.

3.2.1 Método de Cálculo de Bastos (2006)

Para o cálculo da ancoragem adicional, (grampos) caso seja necessário, Bastos (2006) sugere o equacionamento conforme as etapas a seguir:

- a) Calcular a área de aço corrigida, através da equação 24;
- b) Efetuar o equacionamento da área de aço do grampo diminuindo a área de aço corrigida pela área da armadura resistente à flexão, conforme equação 22;
- c) A partir da área de grampo calculada, verificar o diâmetro do aço que atenda de forma plena as solicitações, através dos dois tramos do grampo, com uma bitola compatível, evitando muitas camadas de grampo, que pode encarecer em função de exigência de mão de obra, e inviabilizar a execução. Bastos (2006) sugere ainda que cada grampo tenha o comprimento de cem diâmetros da bitola do grampo adotada.

3.2.2 Método de Cálculo de Araújo (2010)

O método de cálculo de Araújo (2010) baseia-se na tensão de ancoragem que chega ao apoio, e não é ancorada em sua totalidade, em função da largura do apoio

ser menor que o comprimento de ancoragem necessário, sendo o equacionamento deve seguir as etapas a seguir:

- a) Calcular a tensão concentrada F_{sd} e não ancorada no apoio através da equação 21;
- b) Utilizando o valor da tensão F_{sd} calculada, através da equação 25 define-se a área de aço do grampo $A_{s,grampo}$ pela divisão da tensão de projeto do aço da armadura de flexão. Então, define-se a bitola de armadura do grampo, com dois tramos, que supre adequadamente a demanda.
- c) Define-se o comprimento de ancoragem do grampo $l_{b,grampo}$, conforme equação 26.

3.2.3 Método de Cálculo de Mattos (2010)

O Método de Mattos (2010) apresenta em sua composição uma forma diferenciada de calcular a ancoragem em apoios extremos que mescla a armadura calculada para o apoio, o comprimento de ancoragem básico com grampo e a largura disponível no apoio, subtraindo a quantidade de aço que efetivamente chega ao apoio:

- a) Calcular a área de aço do grampo ($A_{s,grampo}$) pela equação 27 ou pela equação 28, conforme condição entre a disponibilidade do apoio e necessidade da armadura a ancorar;
- b) Verificar todos os limitantes, analisando as variações entre o comprimento de ancoragem mínimo, necessário e disponível;
- c) Identificar o tipo de ancoragem a ser adotada para o apoio, conforme item 2.3.7;
- d) Definir o diâmetro e número de camadas de grampo.

3.3 Extração das Tabelas de Consulta

As tabelas de consulta são resultado das compilações dos métodos de cálculo de Bastos (2006), Araújo (2010) e Mattos (2010), assim cada um dos trabalhos trouxe importante contribuição para elaboração destas.

Os parâmetros de entrada considerados para gerar as diferentes combinações foram: classes de concreto, largura do apoio e carregamento.

A vinculação utilizada para o estudo é o bi-apoio simples. Entretanto, qualquer que fosse a vinculação utilizada, seriam considerados dois lados iguais, um em cada lado da viga apoiada, o que geraria forças igualmente distribuídas.

Os carregamentos foram criados e adaptados a partir do cálculo do esforço cortante de projeto. Para criar uma maior abrangência do método, portanto menor particularidade com qualquer situação prática que possa induzir o projetista ao erro no dimensionamento, foram utilizados carregamentos que se iniciam em 10 kN e crescem em 10 kN, sendo o maior carregamento adotado como 190 kN.

Desta forma evita-se utilizar medidas e cargas aplicadas uniformemente distribuídas, diminuindo o número de combinações necessárias.

As classes de concreto utilizadas são: C20, C25, C30, C35, C40 e C45;

As larguras disponibilizadas nos apoios para o estudo foram: 13 cm, 15 cm, 18 cm e 20 cm.

Dentro de cada tabela de consulta é apresentada a classe de concreto, o carregamento utilizado e o cálculo da armadura necessária para ancorar a força que chega ao apoio transferida pela armadura ao concreto, assim como, diferentes combinações de armadura, composta pelo número de barras que chegam ao apoio e pela diâmetro de cada uma, gerando uma combinação interna de mais 18 itens que terão comportamento diferente à cada alteração de parâmetro.

Assim, combinando os 19 carregamentos, as 6 classes de concreto e as 4 larguras de apoios, foram obtidas 456 tabelas de consulta, o que tornaria inviável a apresentação e o uso deste material. Estudou-se a simplificação ou utilização de

outras formas de apresentação e chegou-se a compilação destas em 4 ábacos de consulta (uma por largura de apoio) por classe de concreto.

4 RESULTADOS DO ESTUDO

Os resultados encontrados no presente trabalho serão apresentados em seções, sendo estes: definição da metodologia de cálculo, extração das tabelas de consulta, geração dos ábacos de consulta, geração das tabelas dos grampos de ancoragem a serem empregados e geração das tabelas dos tipos de ancoragem por classe de concreto e largura do apoio.

4.1 Definição da Metodologia de Cálculo

As tabelas geradas apresentam a comparação das três metodologias de cálculo, sendo que os métodos de Mattos (2010) e de Bastos (2006) apresentam resultados semelhantes, pois tratam a questão da ancoragem com parâmetros parecidos. Entretanto, o método Mattos (2010) apresenta resultados que de maior confiabilidade, já que se utilizam de variáveis como o aço solicitado e adotado, além de comprimento de ancoragem disponível e necessário. Além disso, o método de Mattos (2010) é utilizado comercialmente no software Eberick e nele a utilização dos grampos é facultativa e depende de habilitação por parte do usuário.

4.2 Extração Das Tabelas De Consulta

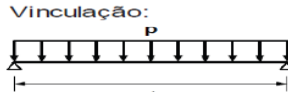
As tabelas geradas apresentam os resultados dos três métodos de cálculo (Mattos, Araújo e Bastos) para que fossem comparados no estudo.

As tabelas apresentam também os seguintes dados:

- Área de aço necessário no apoio;
- Armadura disponível no apoio, através das diversas combinações de número de barras;
- Área de aço, tipo de ancoragem a ser adotada e área de aço a ser adotada no grampo quando necessários, para cada uma das combinações;
- Comprimentos de Ancoragem, disponíveis, necessários e mínimos, que definem o tipo de ancoragem a ser utilizada.

Abaixo é apresentada uma das 456 tabelas geradas para elaboração do trabalho, sendo que não serão apresentadas no trabalho, somente para ilustração do trabalho realizado.

IMAGEM 18 - Tabela de Combinação

Fck	30	Mpa	Vinculação: 												
L,apoio	18	cm													
VSD = RSD	80,00	KN													
As, apoio	1,84	Cm²													
Fdb	3,28	Mpa													
No Apoio			Comprimentos de Ancoragem						Tipo De Ancoragem	Métodos de Cálculo do Grampo					
Nº Barras no Apoio	Diâmetro Ø	As Barra (cm²)	As, Ef Apoio (cm²)	Lb	α Lb	Lb,min	L,disp	Lb,nec		Gancho de Ponta (cm)	Mattos		Araújo		Bastos
										As,gr	Rsd Restante	As,gr	As,corr	As,gr	
2	8,00	0,50	1,01	27	19	6	15	19	3	10	1,3	17	0,38	2,2	1
3	8,00	0,50	1,51	27	19	6	15	19	3	10	0,8	17	0,38	2,2	1
4	8,00	0,50	2,01	27	19	6	15	17	3	10	0,3	11	0,24	2,2	0
2	10,00	0,79	1,57	34	24	8	15	24	3	12	1,3	30	0,68	2,5	1
3	10,00	0,79	2,36	34	24	8	15	19	3	12	0,6	15	0,36	2,5	0
4	10,00	0,79	3,14	34	24	8	15	14	2	12	N/D	-6	-0,14	2,5	-1
2	12,50	1,23	2,45	42	29	10	15	22	3	15	1,2	26	0,59	2,8	0
3	12,50	1,23	3,68	42	29	10	15	15	2	15	N/D	-2	-0,04	2,8	-1
4	12,50	1,23	4,91	42	29	10	15	11	2	15	N/D	-29	-0,66	2,8	-2
2	16,00	2,01	4,02	54	38	13	15	17	3	19	0,6	11	0,24	3,2	-1
3	16,00	2,01	6,03	54	38	13	15	13	2	19	N/D	-14	-0,32	3,2	-3
4	16,00	2,01	8,04	54	38	13	15	13	2	19	N/D	-14	-0,32	3,2	-5
2	20,00	3,14	6,28	67	47	19	15	19	4	N/D	5,8	17	0,39	3,5	-3
3	20,00	3,14	9,42	67	47	19	15	19	4	N/D	5,8	17	0,39	3,5	-6
4	20,00	3,14	12,57	67	47	19	15	19	4	N/D	5,8	17	0,39	3,5	-9
2	25,00	4,91	9,82	83	58	24	15	24	4	N/D	7,1	29	0,68	3,8	-6
3	25,00	4,91	14,73	83	58	24	15	24	4	N/D	7,1	29	0,68	3,8	-11
4	25,00	4,91	19,63	83	58	24	15	24	4	N/D	7,1	29	0,68	3,8	-16

1 = Ancoragem Reta; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

Fonte: do autor

A utilização de uma tabela de combinação seria feita a partir da combinação de classe de concreto, largura do apoio e carregamento. Após o dimensionamento à flexão dos elementos e da escolha das armaduras, as tabelas serviriam de apoio para verificação do tipo de ancoragem a ser utilizado, assim como, em caso de

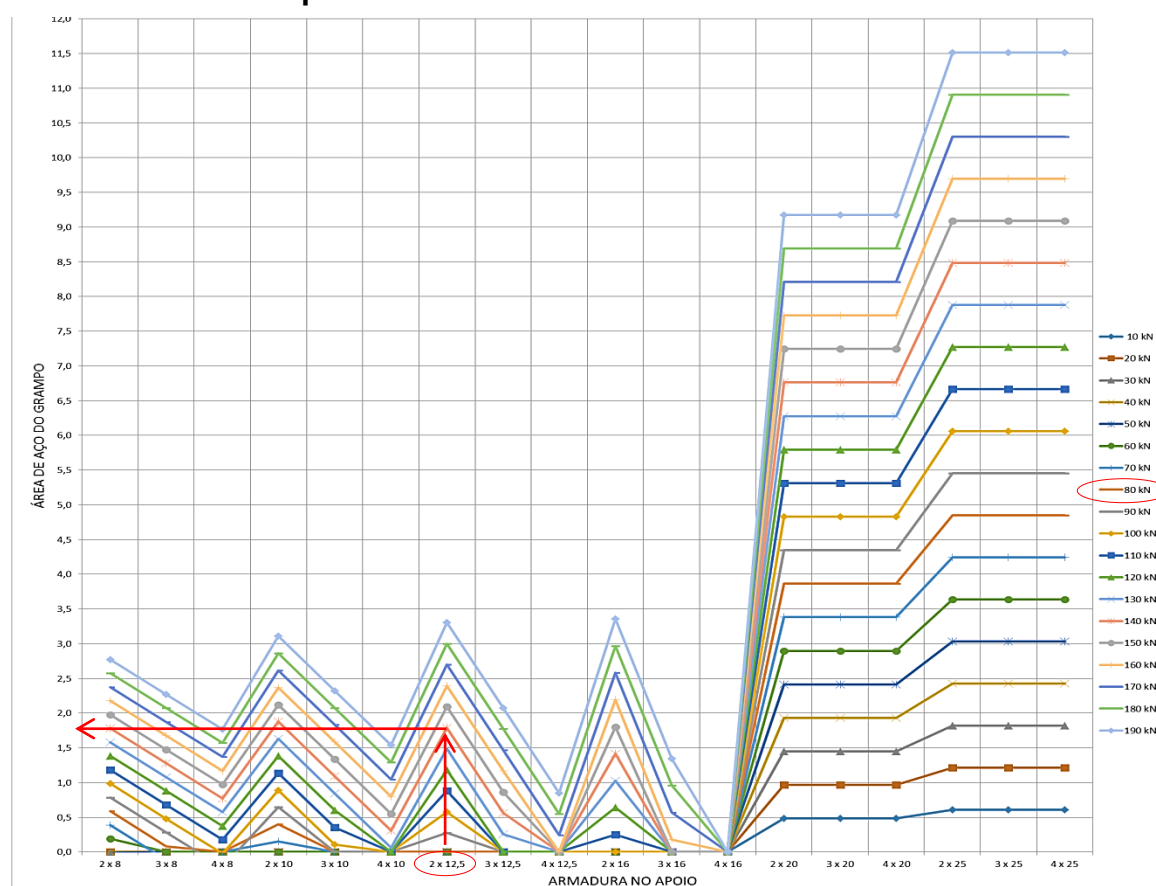
necessidade, adotar uma armadura para o grampo. Entretanto, a quantidade de tabelas inviabilizaria a sua utilização trazendo a necessidade a utilização de ábacos.

4.3 Geração e Utilização dos Ábacos de Consulta

Cada um dos ábacos de consulta foi gerado a partir da compilação de cada um dos 19 carregamentos aplicado sobre cada uma das variações de apoios utilizadas no estudo, variando também entre cada classe de concreto, gerando assim, 24 ábacos de consultas.

Os ábacos gerados a partir da compilação destas 456 tabelas de consulta, encontram-se no Apêndice B. Eles foram gerados com os resultados da metodologia de Mattos (2010).

IMAGEM 19 - Exemplo de Ábaco



Fonte: do autor

Para a utilização de um dos Ábacos, inicialmente verifica-se a Classe de concreto à qual ele pertence a largura do apoio do elemento que estão descritos no cabeçalho de cada ábaco.

Verifica-se então a armadura que chega ao apoio (abaixo do gráfico), localiza-se o carregamento aplicado (legenda do lado direito do gráfico) e então a partir da localização do carregamento, localiza-se o ponto interseção entre a armadura utilizada curva do carregamento que solicita o apoio, neste ponto traça-se uma linha para a esquerda encontrando a armadura necessária ao grampo.

IMAGEM 20 - Exemplo de Tabela com Tipo de Ancoragem

Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
40	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
50	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
60	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
70	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Legenda	1 = Ancoragem Reta; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo																	

Fonte: do autor

Logo abaixo do gráfico dos grampos, apresenta-se uma tabela codificada apontando a melhor solução para a ancoragem da armadura conforme cada situação deve-se localizar a armadura que chega ao apoio e o carregamento e, na junção dos pontos existe a seguinte codificação:

- 1 - Ancoragem Reta;
- 2 - Ancoragem Com Gancho;
- 3 - Ancoragem com Gancho e Grampo;
- 4 - Ancoragem Somente com Grampo.

Esta codificação está descrita abaixo de cada tabela, afim de facilitar a utilização.

4.4 Geração das Tabelas de Grampos

As tabelas geradas para a confecção dos grampos contêm as contribuições de Mattos (2010), Araújo(2010), Bastos (2006) e da NBR 6118/2014, e variam conforme cada alteração de armadura de grampo e classe de concreto adotada, sendo apresentada em tabelas, pela variação da classe de concreto, e estão disponíveis no Apêndice C do presente trabalho.

IMAGEM 21 - Exemplo de Tabela de Parâmetro de Grampos

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 30 Mpa						
Grupo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro $\varnothing$	As Barra (cm ²)	As, grampo (cm ²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	20	3	8
2	5,00	0,20	0,79	20	5	10
3	5,00	0,20	1,18	20	8	13
4	5,00	0,20	1,57	20	10	15
5	5,00	0,20	1,96	20	13	18
1	6,30	0,31	0,62	26	3	8
2	6,30	0,31	1,25	26	5	10
3	6,30	0,31	1,87	26	8	13
4	6,30	0,31	2,49	26	11	16
5	6,30	0,31	3,12	26	13	18
1	8,00	0,50	1,01	27	3	8
2	8,00	0,50	2,01	27	6	11
3	8,00	0,50	3,02	27	8	13
4	8,00	0,50	4,02	27	11	16
5	8,00	0,50	5,03	27	14	19
1	10,00	0,79	1,57	34	3	8
2	10,00	0,79	3,14	34	6	11
3	10,00	0,79	4,71	34	9	14
4	10,00	0,79	6,28	34	12	17
5	10,00	0,79	7,85	34	15	20

Fonte: do autor

Para a utilização da tabela de grampos, inicialmente verifica-se a classe de concreto. Então localiza a necessidade de armadura no grampo que é solicitada e adota o que mais for semelhante na coluna da área de aço do grampo (A_s, grampo), verifica-se também o comprimento deste grampo, contado à partir da face do apoio, ou seja deve-se acrescentar a largura do apoio no comprimento final do grampo.

4.3 Exemplo de Utilização

Nesta seção é apresentada a forma de utilização do material gerado, iniciando pelos ábacos de consulta para determinação da área de aço dos grampos e o tipo de ancoragem a ser utilizada e terminando na utilização das tabelas dos grampos.

Utilizaremos os seguinte parâmetros para exemplificar a utilização do material gerado, sendo ele Ábacos de Ancoragem e Tabelas de Grampos:

- Concreto de Classe 25 mPa;
- Largura do Apoio de 20 cm;
- Carregamento 80 kN;
- Armadura que chega ao apoio 2 X Ø 12,5 mm

Inicialmente localiza-se o ábaco de classe de concreto 25 mPa e largura de apoio de 20 cm (Tabela 15). Então verifica qual codificação para classe de carregamento de 80 kN na legenda para identificação da curva a ser utilizada.

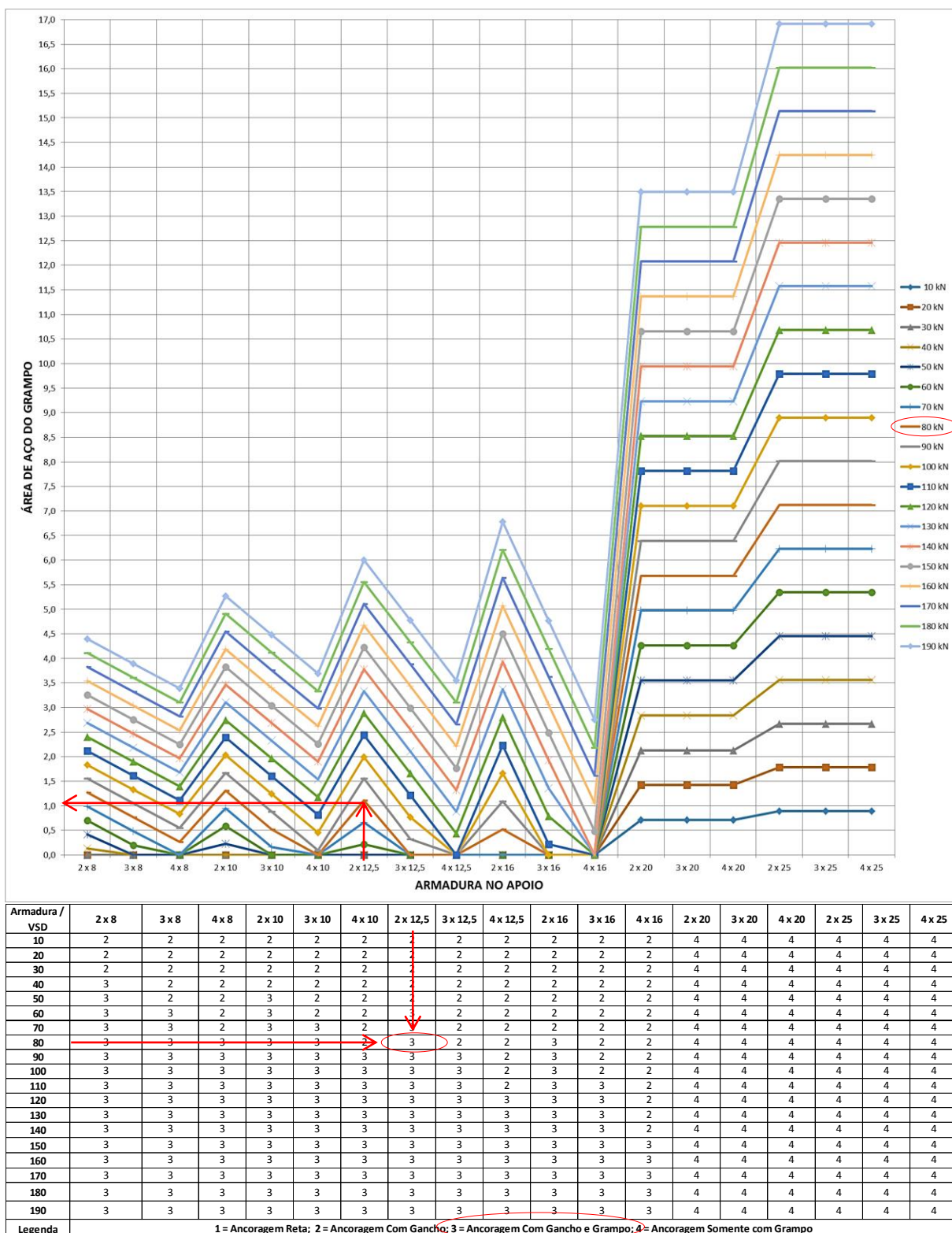
Identificados os dados iniciais, a partir da coluna da armadura que chega ao apoio, localiza-se a curva do carregamento utilizada e no ponto de interseção destes, traça-se uma reta para a esquerda, onde será localizada a armadura necessária no grampo.

Verifica-se que com o carregamento de 80 kN, com armadura 2 x Ø 12,5 mm necessita-se de grampo com aproximadamente 1,2 cm², conforme imagem 22.

Verifica-se também que a ancoragem a ser adotada é com a utilização de gancho e grampo.

IMAGEM 22 - Exemplo de Utilização do Gráfico

Combinação 8 - Fck 25 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: do autor

Como se verifica no exemplo acima, há necessidade de adoção de grampo com área superior a 1,2 cm². Assim, deve-se localizar a tabela de grampos compatível com

a classe de concreto utilizada (Tabela 33), nela existem várias opções de grampos, que devem ser escolhidos conforme a necessidade e a aplicabilidade em cada situação, ficando à escolha do projetista, conforme imagem 23.

IMAGEM 23 - Exemplo de Utilização da Tabela de Grampos

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 20 Mpa						
Grupo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro ϕ	As Barra (cm ²)	As, grampo (cm ²)	Lb, gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	27	3	8
2	5,00	0,20	0,79	27	5	10
3	5,00	0,20	1,18	27	8	13
4	5,00	0,20	1,57	27	10	15
5	5,00	0,20	1,96	27	13	18
1	6,30	0,31	0,62	33	3	8
2	6,30	0,31	1,25	33	5	10
3	6,30	0,31	1,87	33	8	13
4	6,30	0,31	2,49	33	11	16
5	6,30	0,31	3,12	33	13	18
1	8,00	0,50	1,01	35	3	8
2	8,00	0,50	2,01	35	6	11
3	8,00	0,50	3,02	35	8	13
4	8,00	0,50	4,02	35	11	16
5	8,00	0,50	5,03	35	14	19
1	10,00	0,79	1,57	44	3	8
2	10,00	0,79	3,14	44	6	11
3	10,00	0,79	4,71	44	9	14
4	10,00	0,79	6,28	44	12	17
5	10,00	0,79	7,85	44	15	20

Fonte: do autor

Assim, verifica-se que podem ser usadas várias combinações de grampos, assim como os demais parâmetros necessários para a utilização da solução escolhida, como comprimento do grampo, altura mínima do gancho e altura mínima da viga para a receber a solução.

5. CONCLUSÃO

Durante a elaboração deste trabalho foi possível verificar a existência de diferentes alternativas de solução para o mesmo assunto, sendo abordados diferentemente por cada autor. Assim, existem algumas metodologias para serem aplicadas sobre as ancoragens, nelas cada autor utiliza seu conhecimento na interpretação sob o seu ponto de vista, respeitando os limites da norma reguladora NBR 6118/2014.

Entretanto, nenhuma norma brasileira aborda explicitamente o assunto da utilização de grampos, sendo esta uma solução prática, objetiva e necessária para a ancoragem de armaduras positivas em diversos casos, quando a sua adoção pode, na grande maioria dos casos, evitar o alargamento das vigas de apoio, que em consequência encarecem a estrutura pelo acréscimo do volume de concreto. Isso sem contar as consequências deste acréscimo sobre pilares e fundações.

Assim, efetuou-se uma análise sobre três modelos de cálculo de autores diferentes, sendo os resultados auferidos são um pouco diferentes em função da metodologia adotada por cada um.

O Método de Cálculo de Araújo (2010) é bastante simples na sua elaboração e o resultado apresenta armadura de ancoragem para os grampos ligeiramente menor.

O Método de Cálculo de Bastos (2006) é significativamente mais simples, mas não leva em consideração todas as correções e ponderações que reduzem a área de aço do grampo auxiliar de ancoragem, resultando em maior área de aço. Portanto, poderia representar desperdício de materiais.

O Método de Mattos (2010) é o método que apresenta a maior complexidade, mas seu resultado se aproxima bastante do Método de Bastos (2006), sendo este o modelo de cálculo adotado para elaboração dos ábacos, pois, além da semelhança com outra metodologia, é utilizado comercialmente em softwares de dimensionamento de concreto armado, portanto representa maior confiabilidade para sua utilização.

Obteve-se resultados satisfatórios, tanto para fins acadêmicos, respondendo a todos os questionamentos efetuados, como para fins profissionais, pois representa uma fonte de consulta rápida para situações cotidianas, que podem acrescentar confiabilidade nas decisões tomadas durante o projeto.

Pode-se gerar redução de custos, tanto de projeto, como de materiais e mão de obra, que seriam ocasionados, em caso de aumento das dimensões das peças para alocar a ancoragem e armadura compatível com as características do projeto.

Analizando os ábacos da Ancoragem, pode-se perceber que o incremento na resistência tem influência direta sobre os resultados da ancoragem, reduzindo a necessidade tanto de armadura de ancoragem quanto nos grampos.

Percebe-se que para bitolas maiores, o comprimento de ancoragem mínimo, seja com gancho ou com grampo extrapola o comprimento de ancoragem disponível nos apoios estudados e impede a ancoragem da armadura, devendo ser efetuada somente com grampos e, esta situação requer armadura excessiva para os grampos tornando inviável sua adoção, demonstrando que para cargas e diâmetros de barras maiores deve se tomar cuidados com o presente método, assim esta situação merece estudo específico.

Verifica-se ainda, que barras de bitolas menores são melhores para ancorar, pois necessitam menor largura disponível no apoio, entretanto onde existe a necessidade mais armadura, quando a viga suportada permitir, pode-se decompor a armadura em barras de menor bitola, sendo em maior número, facilitando também a montagem e dobra da armadura.

Verificou-se também, que classes de concreto de maior resistência auxiliam reduzindo a armadura necessária, já que possuem maior capacidade de receber e distribuir as tensões

O estudo sobre a ancoragem com grampos auxiliares, merece aprofundamento, através da pesquisa de outras metodologias que possam apresentar melhor custo benefício que os estudados.

Desta forma, poderia estender os estudos sobre os impactos que geram a aplicação dos grampos adicionais de ancoragem, quer pela análise da resistência mecânica proporcionada pelo acréscimo de armadura, quanto pela redução de carregamento sobre as estruturas, buscando resultado financeiro através das economias geradas.

Sugere-se ainda, estudos que efetuem um comparativo entre os resultados do presente trabalho com os resultados obtidos nas mesmas situações em softwares comerciais, avaliando as discrepâncias que eventualmente fossem constatadas, ajustando as metodologias de cálculo conforme se revelasse mais adequadas.

6. BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3 ed. Rio Grande: Dunas, 2010. V.1.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. V.2.

ASSIS JÚNIOR, Edson Costa de. **Análise numérica da ancoragem em ligações do tipo viga-pilar de extremidade**. Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-24042006-220951/publico/DissertacaoECAJ.pdf>>, acesso em 10/08/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto e estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço Destinado à armaduras para estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BASTOS, Paulo Sérgio Dos Santos. **Ancoragem e emenda de armaduras**. Bauru, UNSEP, 2006, disponível em:
<wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Ancoragem.pdf>, acesso em: 05/08/2014.

BORGES, Alberto Nogueira. **Curso prático de cálculo em concreto armado**: projetos de edifícios. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, 2010.

CAMPOS FILHO, Américo. **Detalhamento das estruturas de concreto pelo método das bielas e dos tirantes**. Porto Alegre, UFRGS, 2010. Disponível em: <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/topicos/bielas.pdf>>. Acesso em: 05/08/2014

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2013.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1995.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduardo. **Construções de concreto – Principios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Vol 3**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

MATTOS, Nilson Cezar. **Ancoragem da Armadura de Tração em apoios Extremos de Vigas**. Florianópolis, 2010.

MONTOYA, Jimenes; MESSEGUER, Álvaro García; CABRÉ, Francisco Morán. **Hormigón Armado**. 14.ed. Barcelona: G.Gilli, 1994.

PINHEIRO, Libânio M., MUZARDO, Cassiane D., **Aderência E Ancoragem – CAPÍTULO 10**, USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas, São Paulo, 2003, disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Ancoragem.pdf>>, Acesso em: 05/08/2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas Auxiliares

Tabela 4 - Características Da Barras De Aço Entalhadas

	Ø		Peso	Pino de dobra	Desc. p/ dobra	Dobra 90º	Seção Transv.
	mm	pol.	Kg/m	cm	cm	cm	cm²
CA 60	4,2		0,109	2,5	0,5	5	0,139
	5	3/16"	0,154	3	1	6	0,196
	6		0,222	3,6	1	7	0,283
CA 50	6,3	1/4"	0,245	3,2	1	8	0,312
	8	5/16"	0,395	4	1,5	10	0,503
	10	3/8"	0,617	5	2	12	0,785
	12,5	1/2"	0,963	6,3	3	15	1,227
	16	5/8"	1,578	8	4	19	2,011
	20	3/4"	2,466	16	6	26	3,142
	25	1"	3,853	20	8	33	4,909

Fonte: Do Autor Adaptado de Araújo (2010).

Tabela 5 - Áreas das Armaduras e Largura Mínima da Viga (agregado $d_{\max}$ 19 mm)

$\emptyset$		Área de Armadura (cm ²) e largura mínima da viga (cm)								
		Número de Barras								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
mm	pol.									
CA 50	8	5/16"	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	4,53
			10	13	17	20	23	26	29	32
	10	3/8"	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07
			11	14	17	21	24	27	31	34
	12,5	1/2"	2,45	3,68	4,91	6,14	7,36	8,59	9,82	11,04
			11	15	18	22	25	29	33	36
	16	5/8"	4,02	6,03	8,04	10,06	12,07	14,08	16,09	18,10
			12	16	20	24	28	31	35	39
	20	3/4"	6,28	9,43	12,57	15,71	18,85	21,99	25,14	28,28
			13	17	21	26	30	34	39	43
	25	1"	9,82	14,73	19,64	24,55	29,45	34,36	39,27	44,18
			14	19	24	29	34	39	44	49

Fonte: Do Autor Adaptado de Araújo (2010).

Tabela 6 - Comprimento de Ancoragem Reta (cm)

$\emptyset$		Ancoragem Reta									
		C 20		C 25		C 30		C 35		C 40	
		Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má
mm	pol.										
CA 50	8	5/16"	35	50	30	43	27	38	24	35	22
	10	3/8"	44	63	38	54	34	48	30	43	28
	12,5	1/2"	55	78	47	68	42	60	38	54	35
	16	5/8"	70	100	61	87	54	77	48	69	44
	20	3/4"	88	126	76	108	67	96	61	86	55
	25	1"	110	157	95	135	84	120	76	108	69

Fonte: Do Autor Adaptado de Araújo (2010).

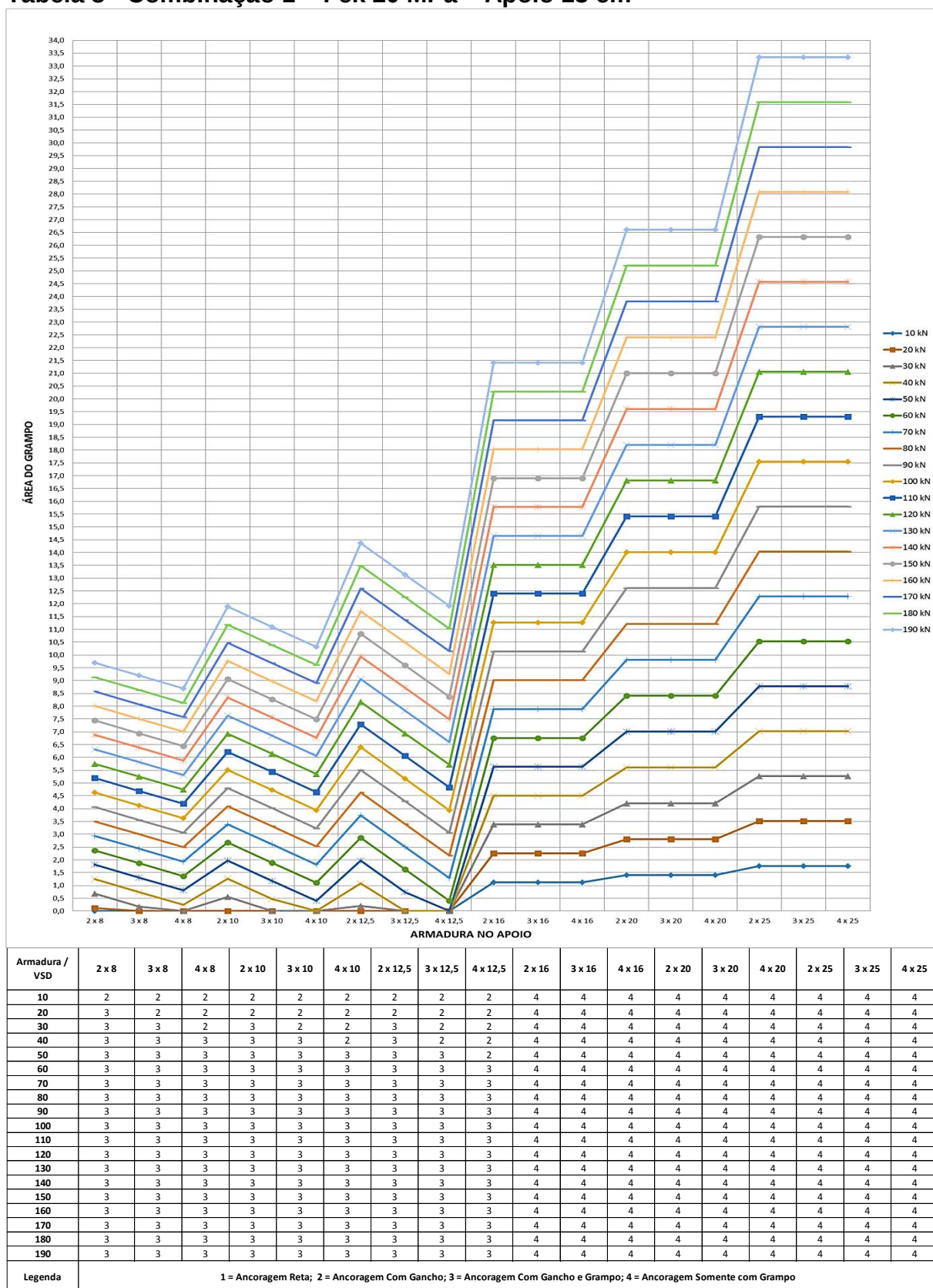
Tabela 7 - Comprimento de Ancoragem com Gancho (cm)

	Ø		Ancoragem com Gancho									
			C 20		C 25		C 30		C 35		C 40	
	mm	pol.	Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má	Boa	Má
CA 50	8	5/16"	25	35	21	30	19	27	17	24	16	22
	10	3/8"	31	44	27	38	23	34	21	30	19	28
	12,5	1/2"	38	55	33	47	29	42	26	38	24	35
	16	5/8"	49	70	42	61	38	54	34	48	31	44
	20	3/4"	62	88	53	76	47	67	42	61	39	55
	25	1"	77	110	66	95	59	84	53	76	48	69

Fonte: Do Autor Adaptado de Araújo (2010).

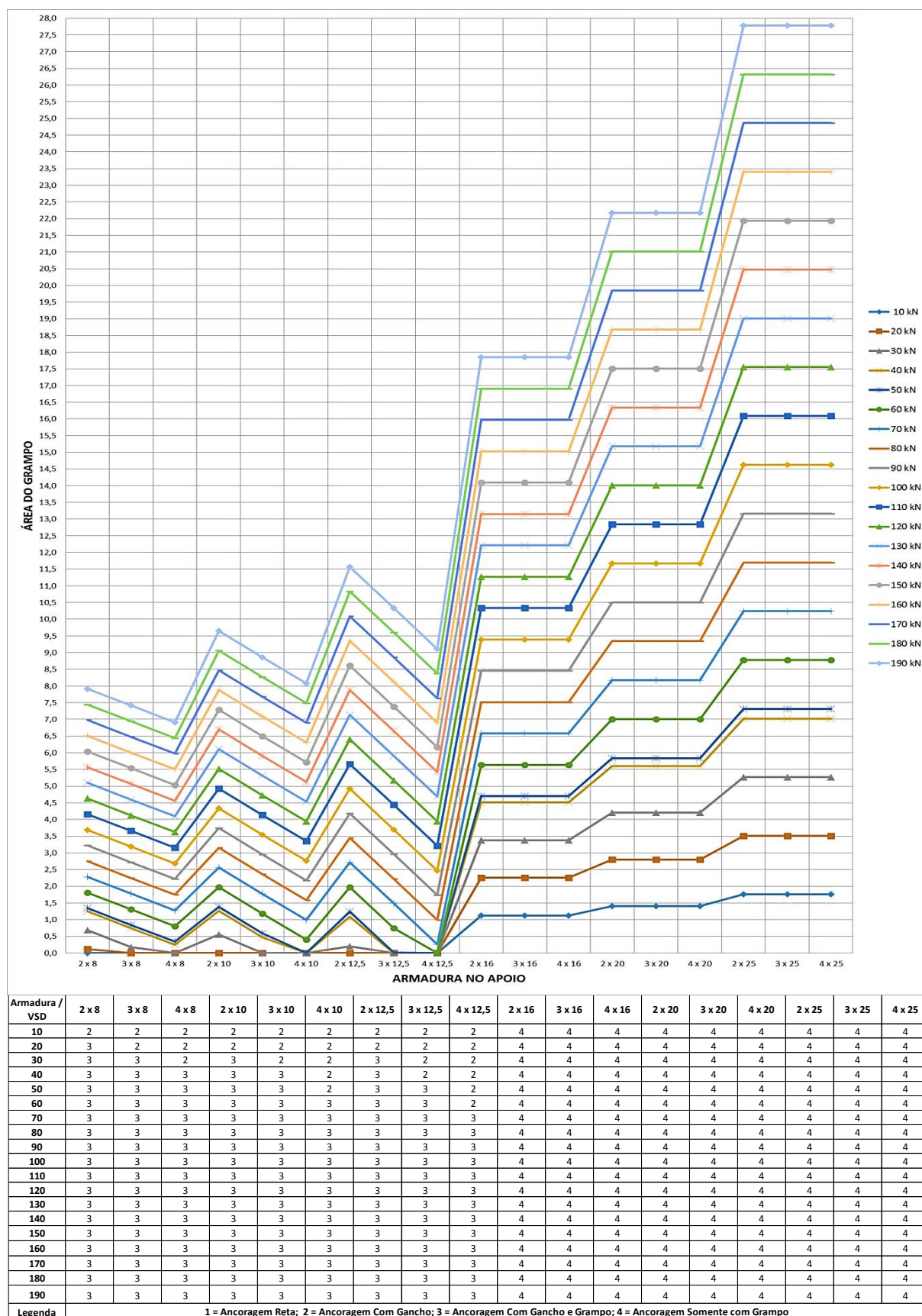
APÊNDICE B – Ábacos De Ancoragem

Tabela 8 - Combinação 1 – Fck 20 MPa – Apoio 13 cm



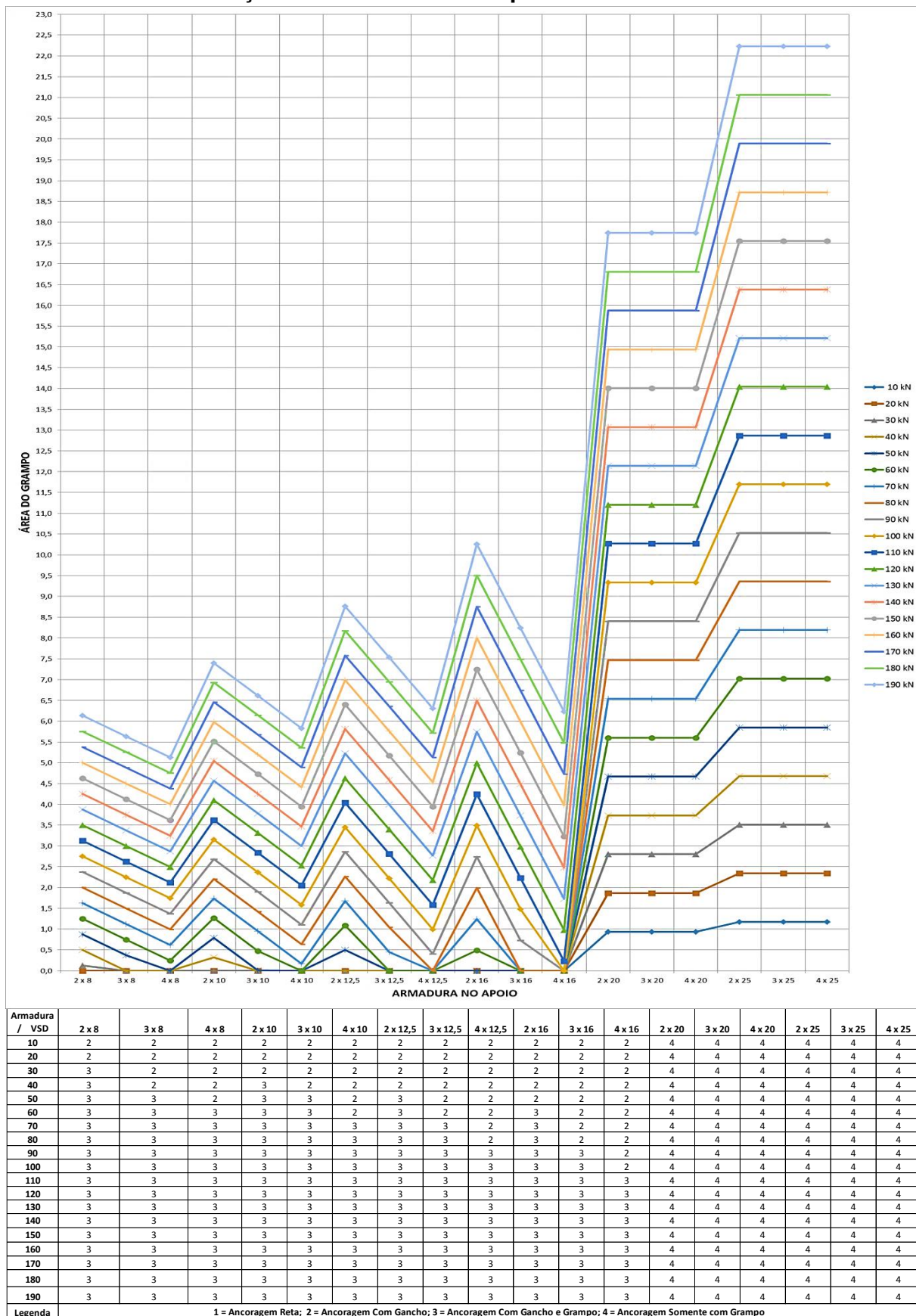
Fonte: Do Autor

Tabela 9 - Combinação 2 - Fck 20 MPa – Apoio 15 cm



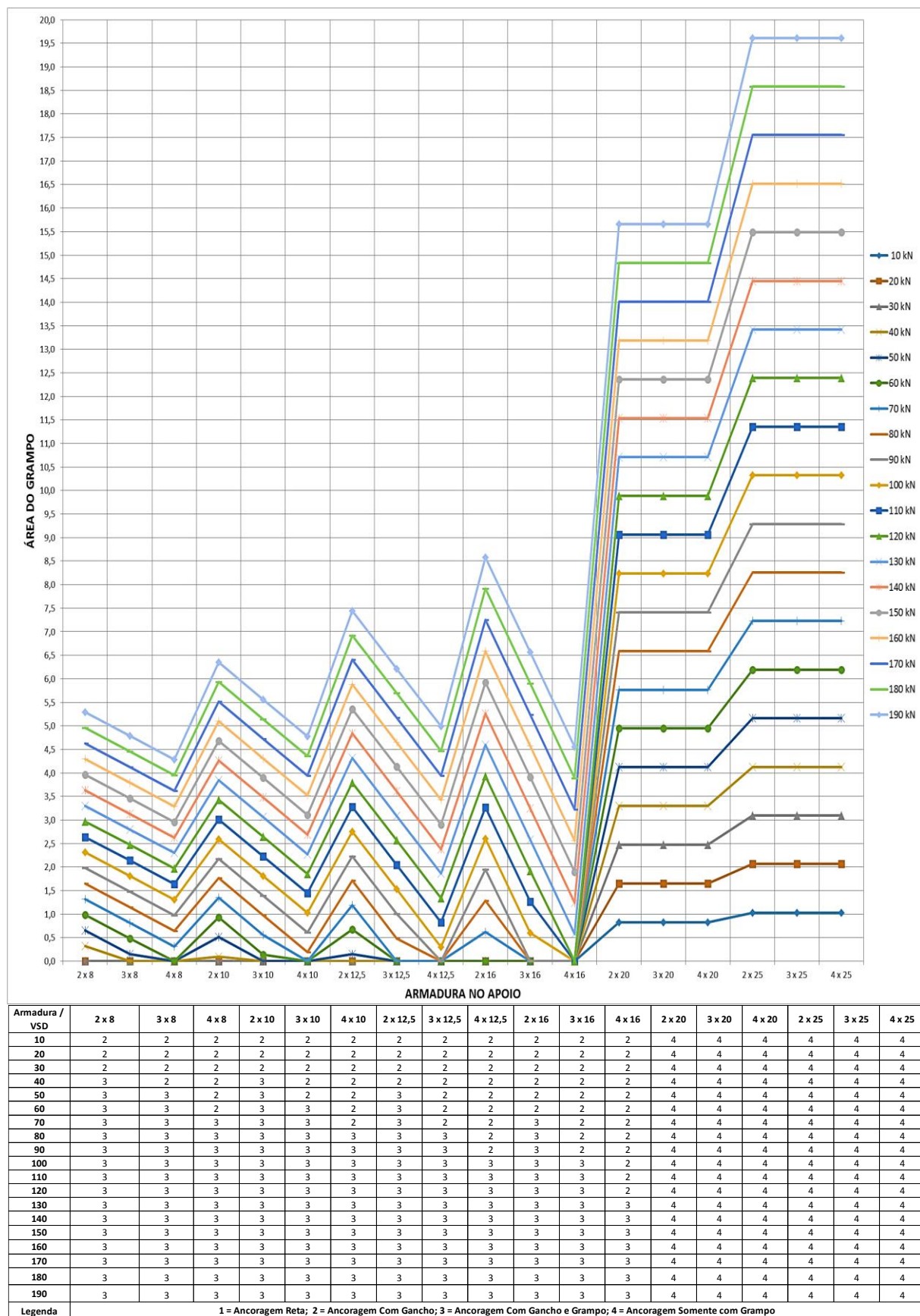
Fonte: Do Autor

Tabela 10 - Combinação 3 - Fck: 20 MPa – Apoio 18 cm



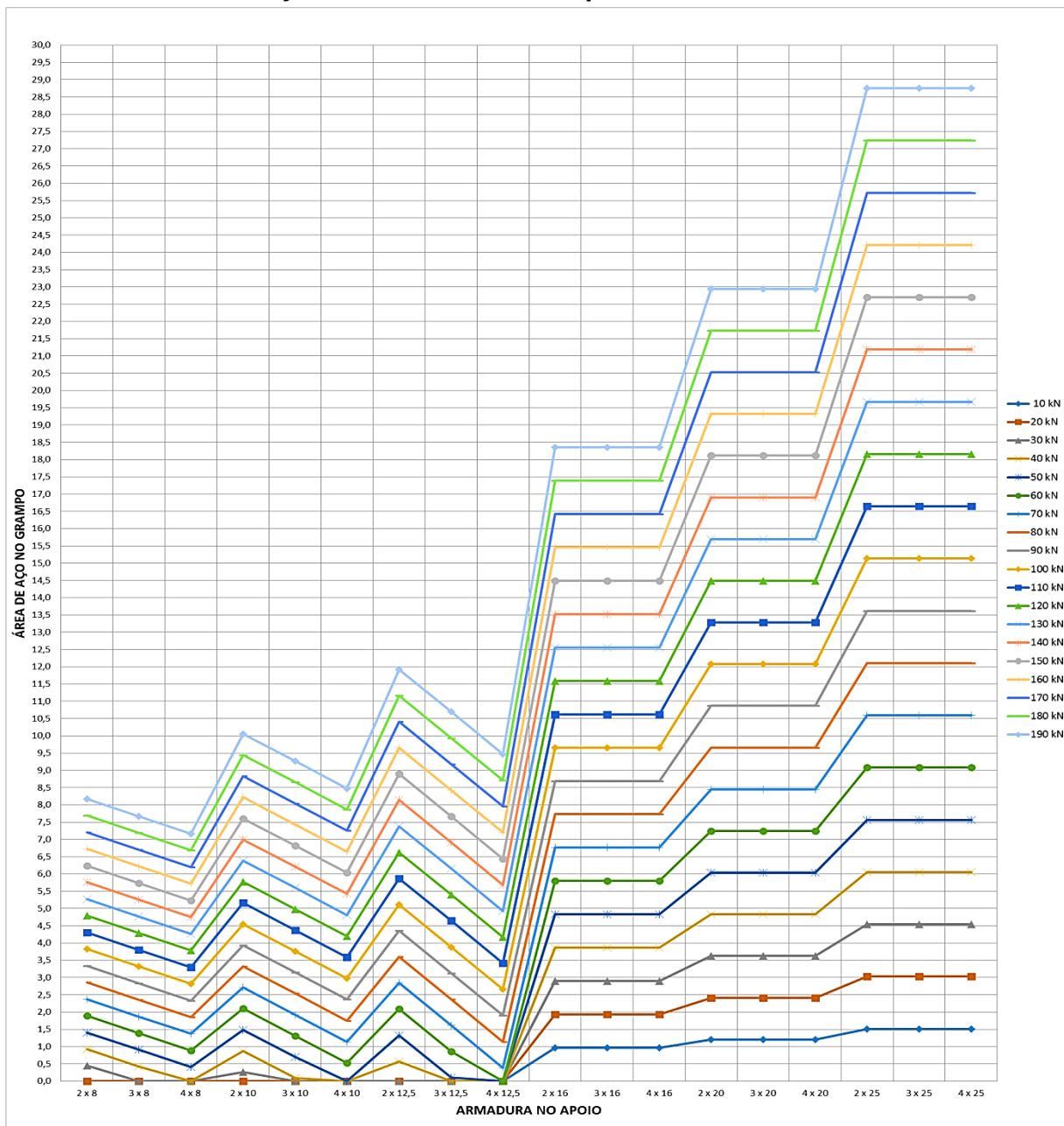
Fonte: Do Autor

Tabela 11 - Combinação 4 - Fck: 20 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: Do Autor

Tabela 12 - Combinação 5 – Fck 25 MPa – Apoio 13 cm



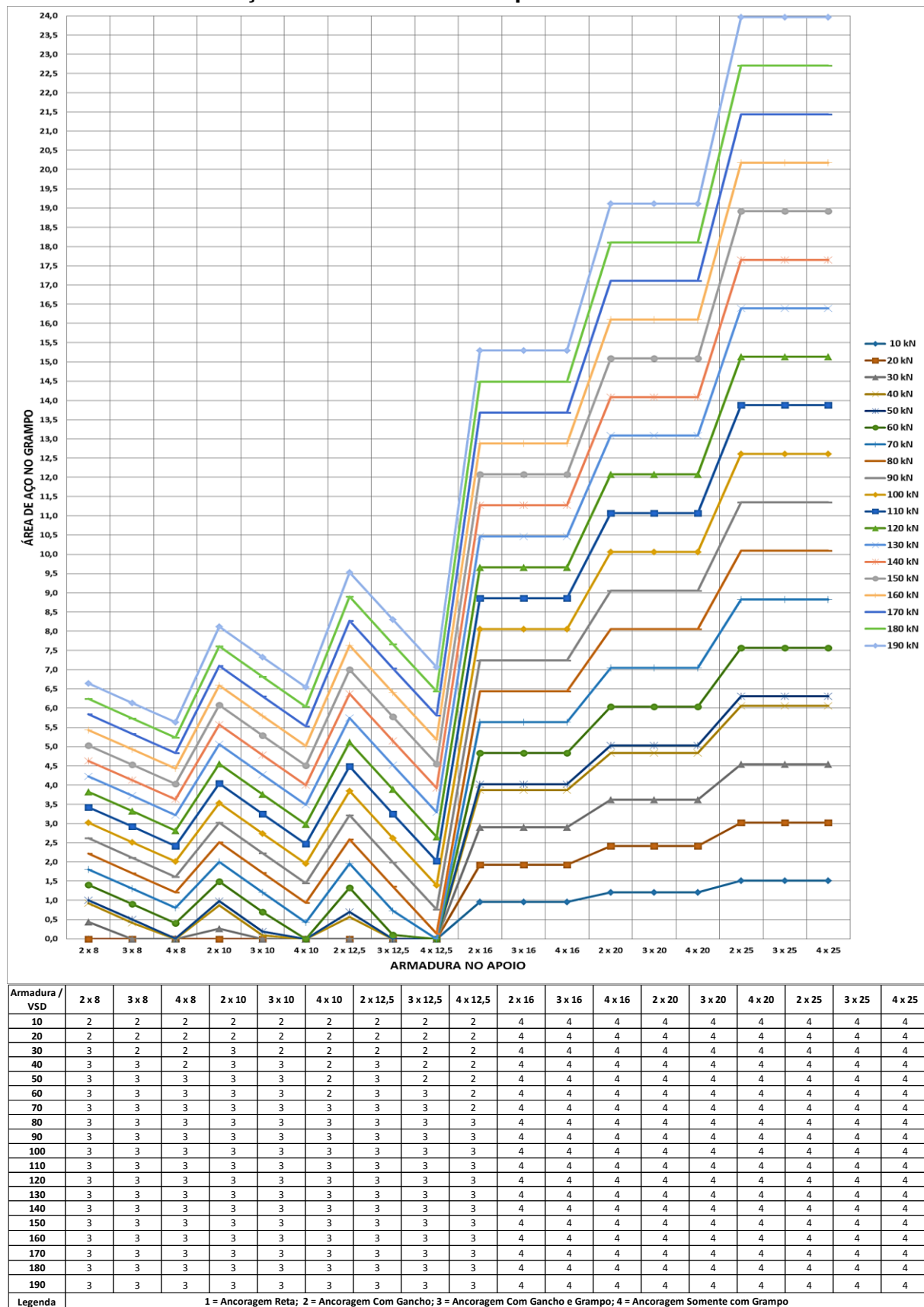
Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	3	3	2	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
50	3	3	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
60	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Legenda

1 = Ancoragem Retã; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

Fonte: Do Autor

Tabela 13 - Combinação 6 - Fck: 25 MPa – Apoio 15 cm



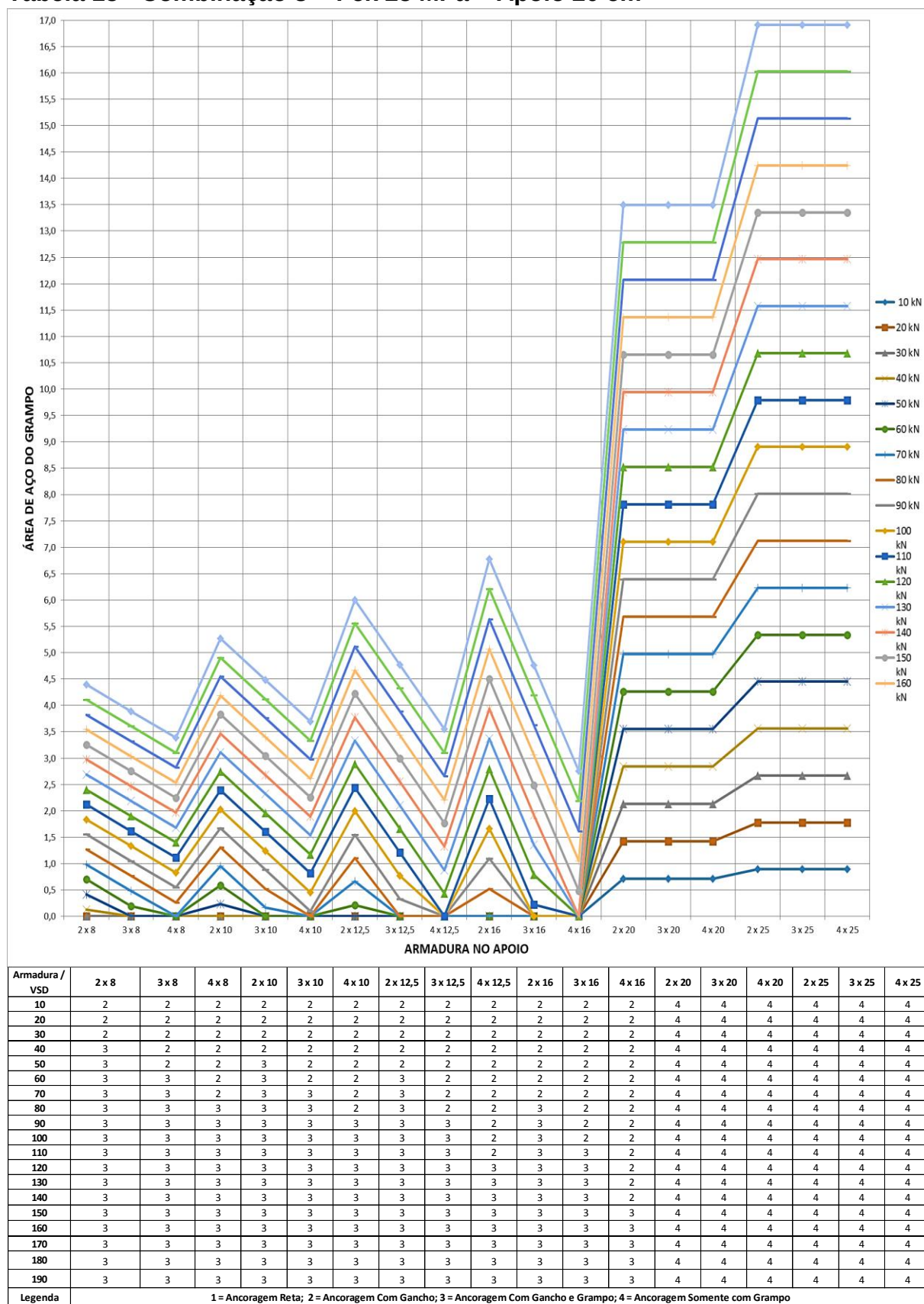
Fonte: Do Autor

Tabela 14 - Combinação 7 - Fck 25 MPa – Apoio 18 cm



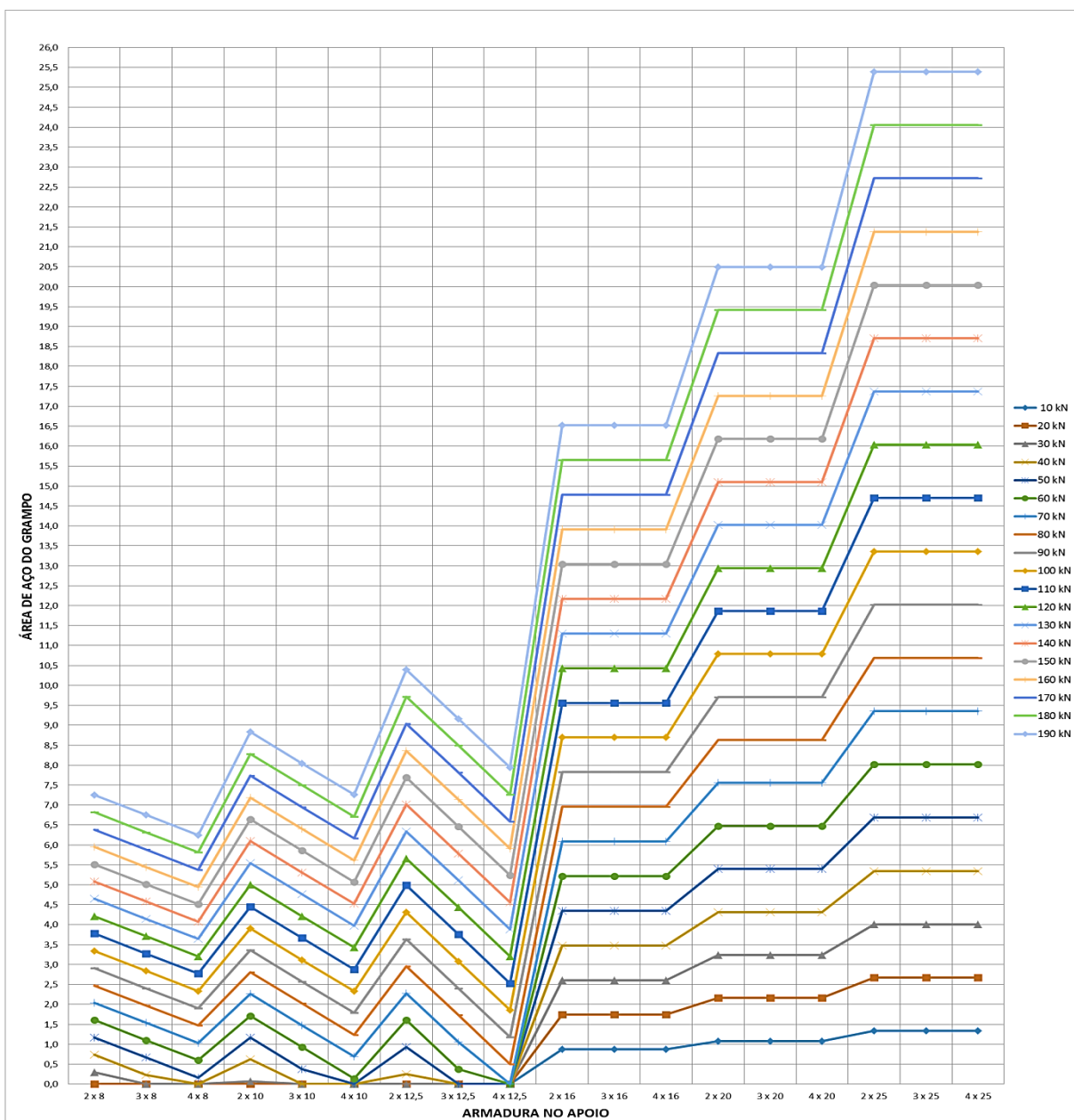
Fonte: Do Autor

Tabela 15 - Combinação 8 - Fck 25 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: Do Autor

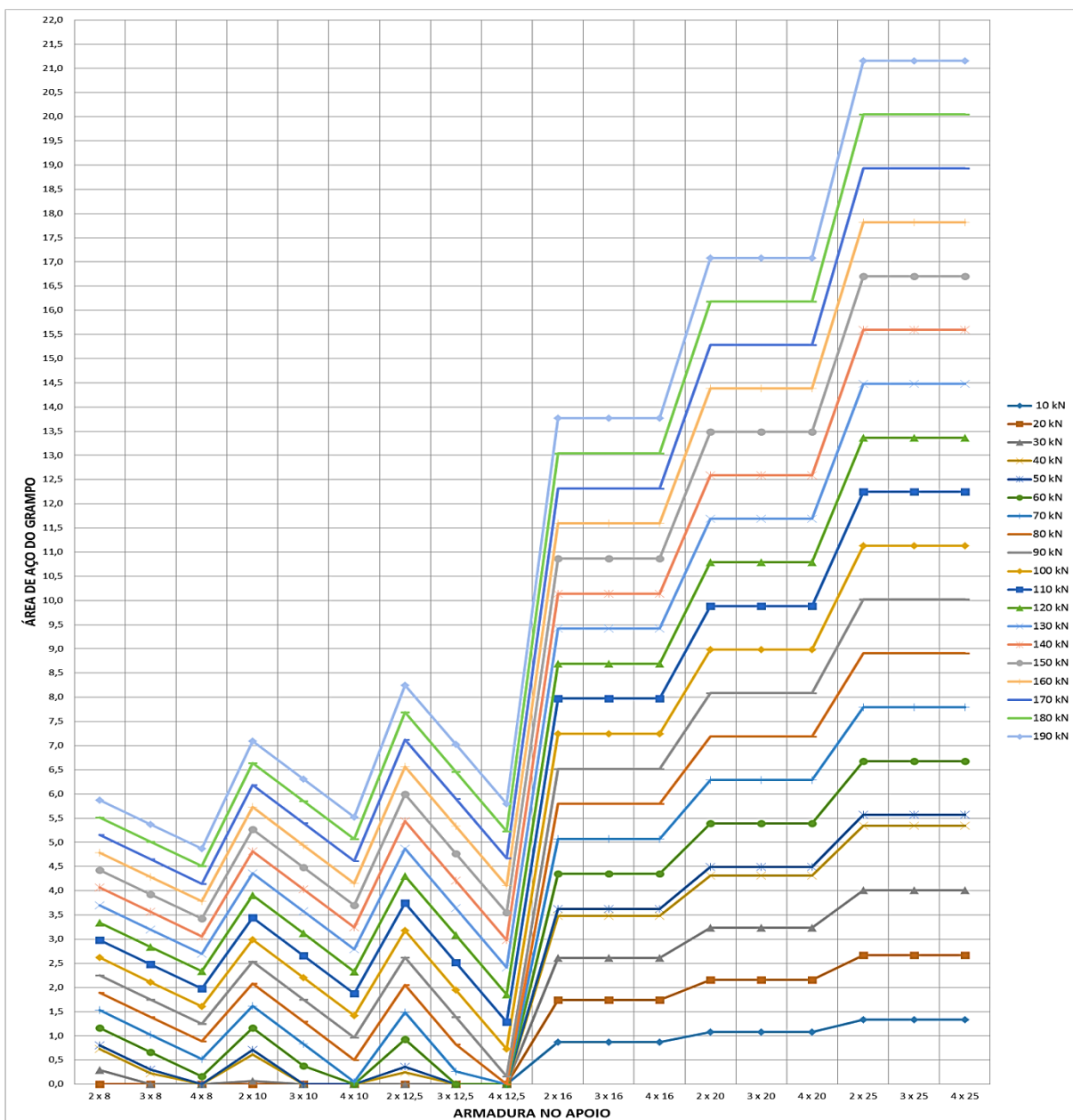
Tabela 16 - Combinação 9 - Fck 30 MPa – Apoio 13 cm



Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
50	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
60	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Legenda	1 = Ancoragem Retas; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo																	

Fonte: Do Autor

Tabela 17 - Combinação 10 - Fck 30 MPa – Apoio 15 cm

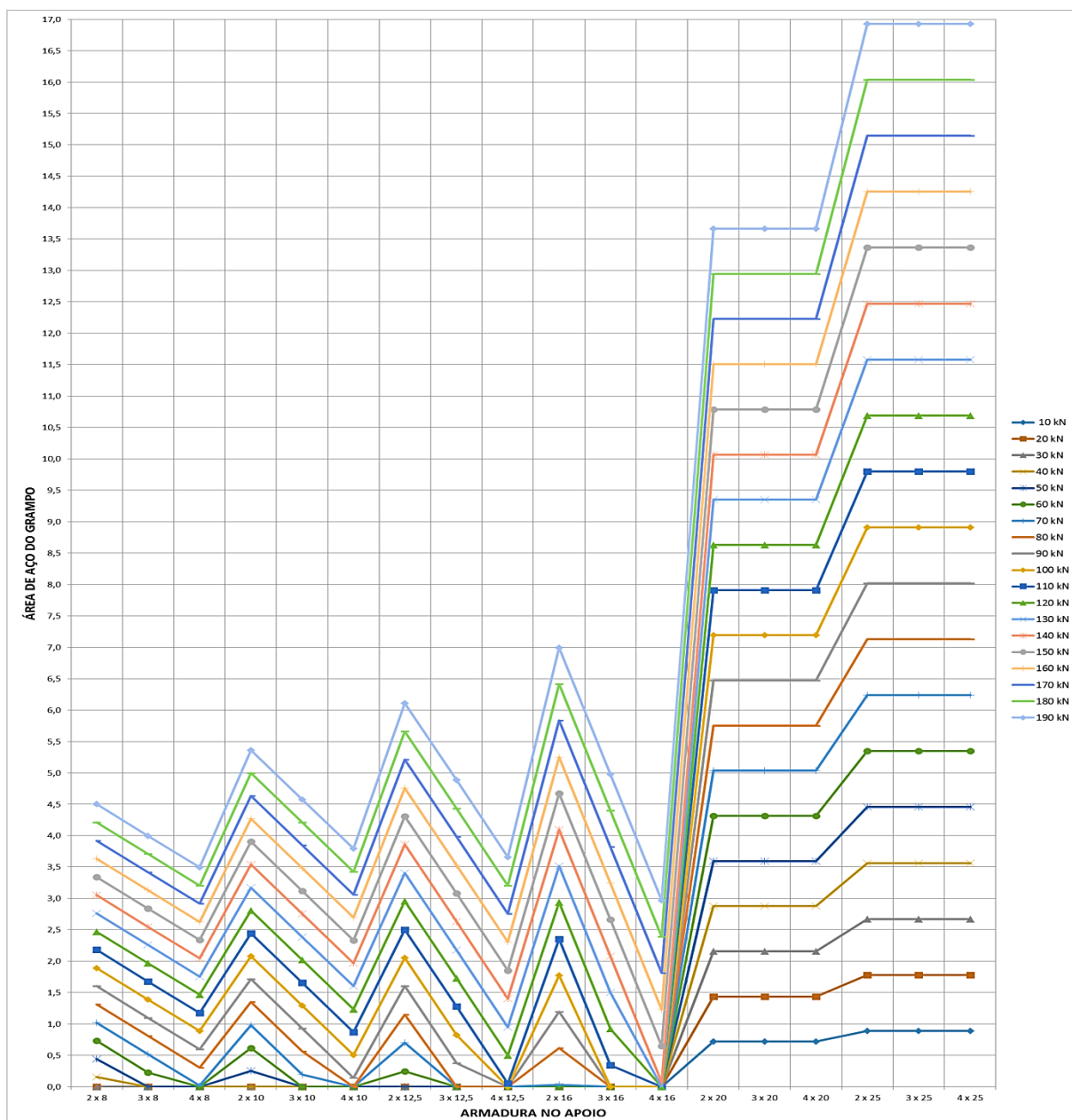


Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	3	3	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
50	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
60	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Legenda 1 = Ancoragem Retã; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

Fonte: Do Autor

Tabela 18 - Combinação 11 - Fck: 30 MPa – Apoio 18 cm

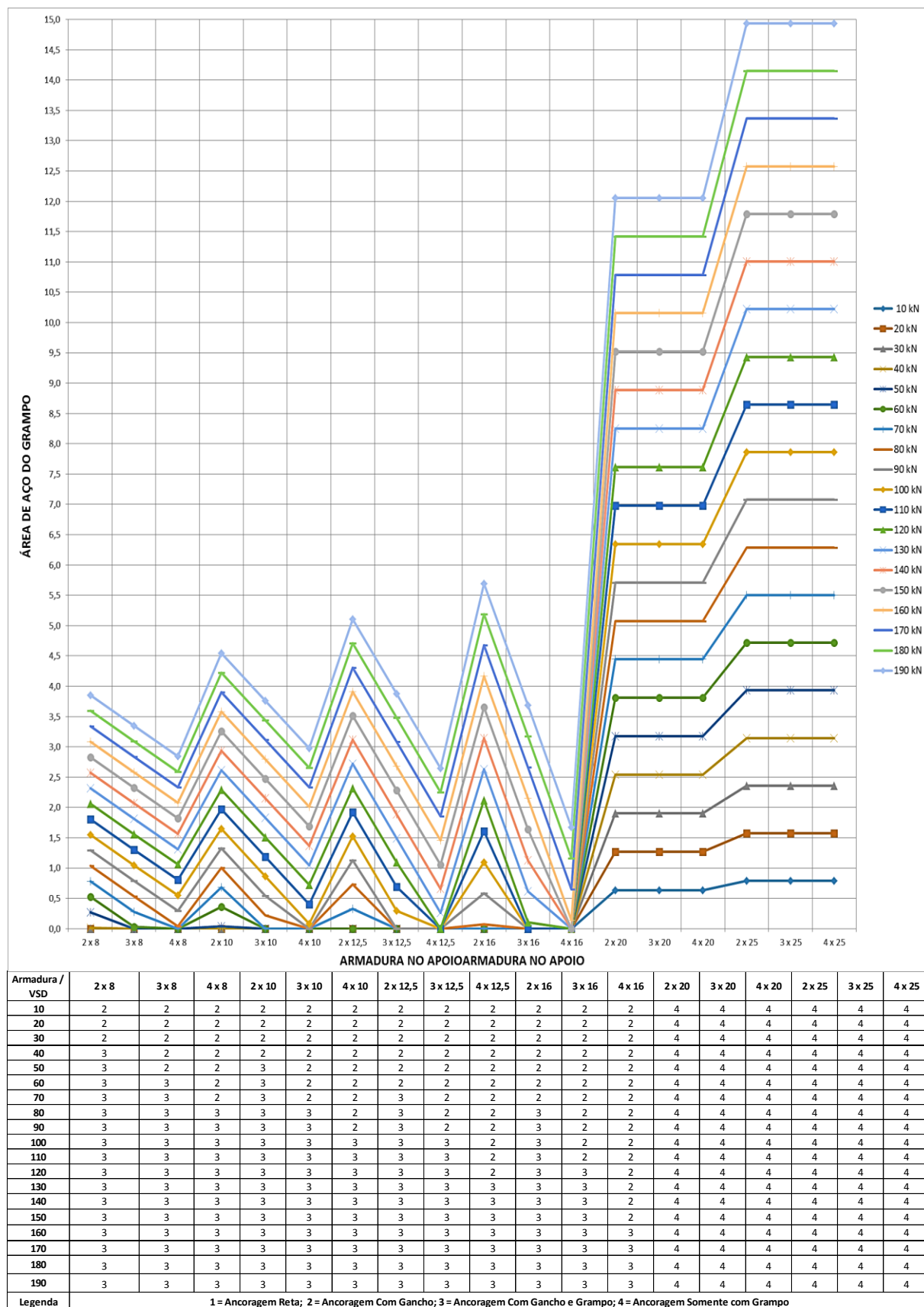


Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
40	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
50	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
60	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4

Legenda 1 = Ancoragem Reta; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

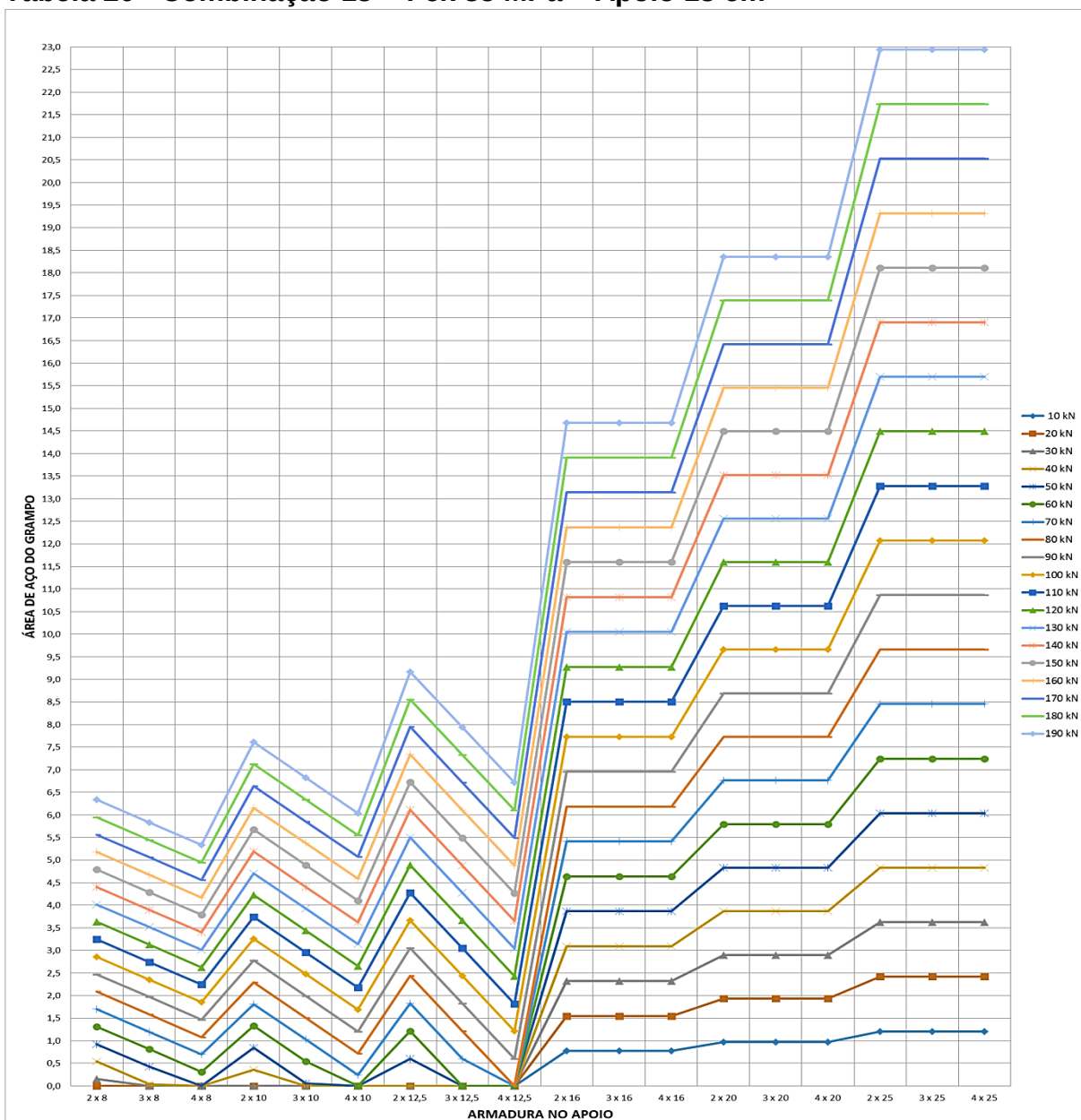
Fonte: Do Autor

Tabela 19 - Combinação 12 - Fck 30 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: Do Autor

Tabela 20 - Combinação 13 - Fck 35 MPa – Apoio 13 cm

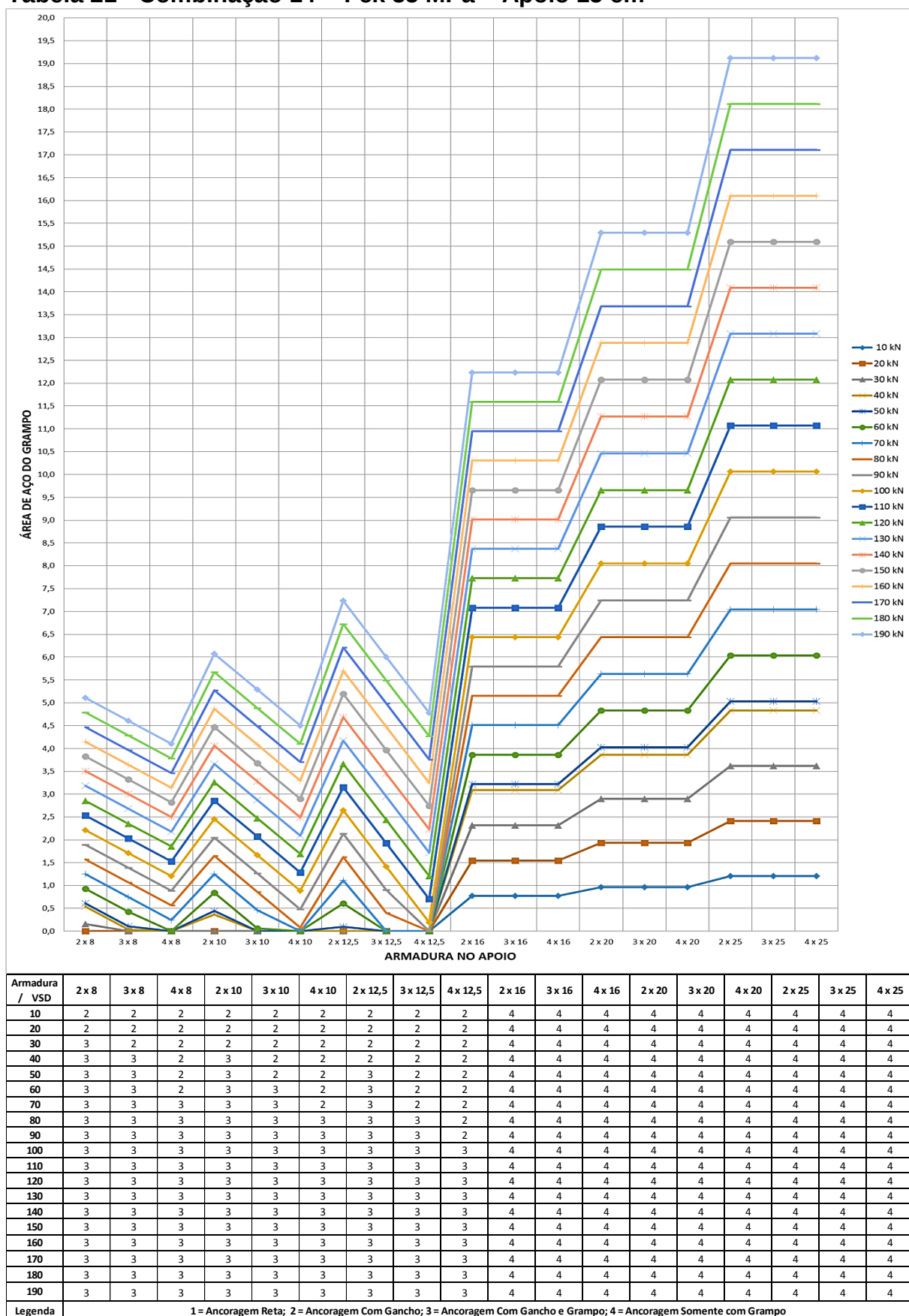


Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	3	3	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
50	3	3	2	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
60	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Legenda 1 = Ancoragem Retã; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

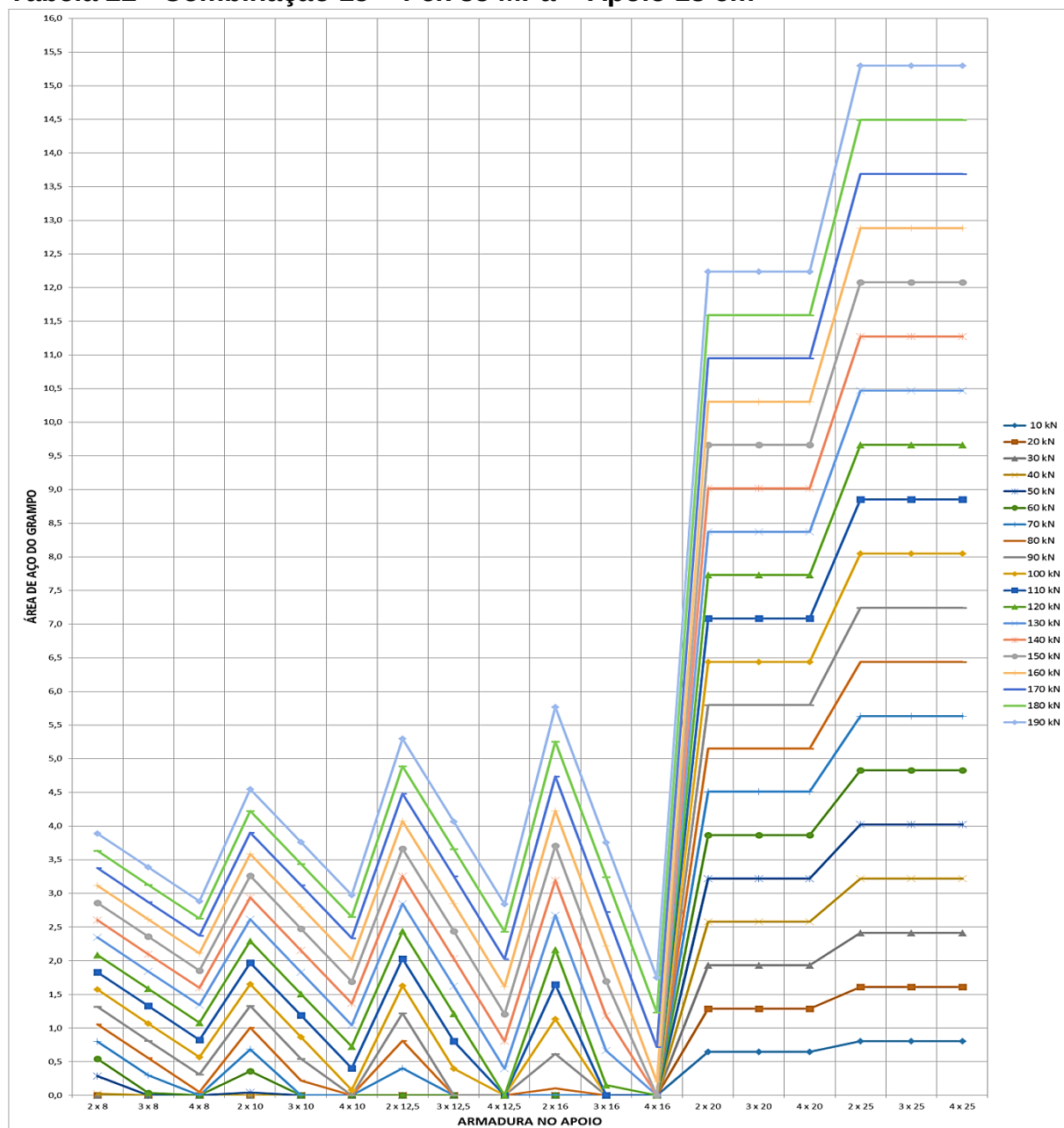
Fonte: Do Autor

Tabela 21 - Combinação 14 - Fck 35 MPa – Apoio 15 cm



Fonte: Do Autor

Tabela 22 - Combinação 15 - Fck 35 MPa – Apoio 18 cm

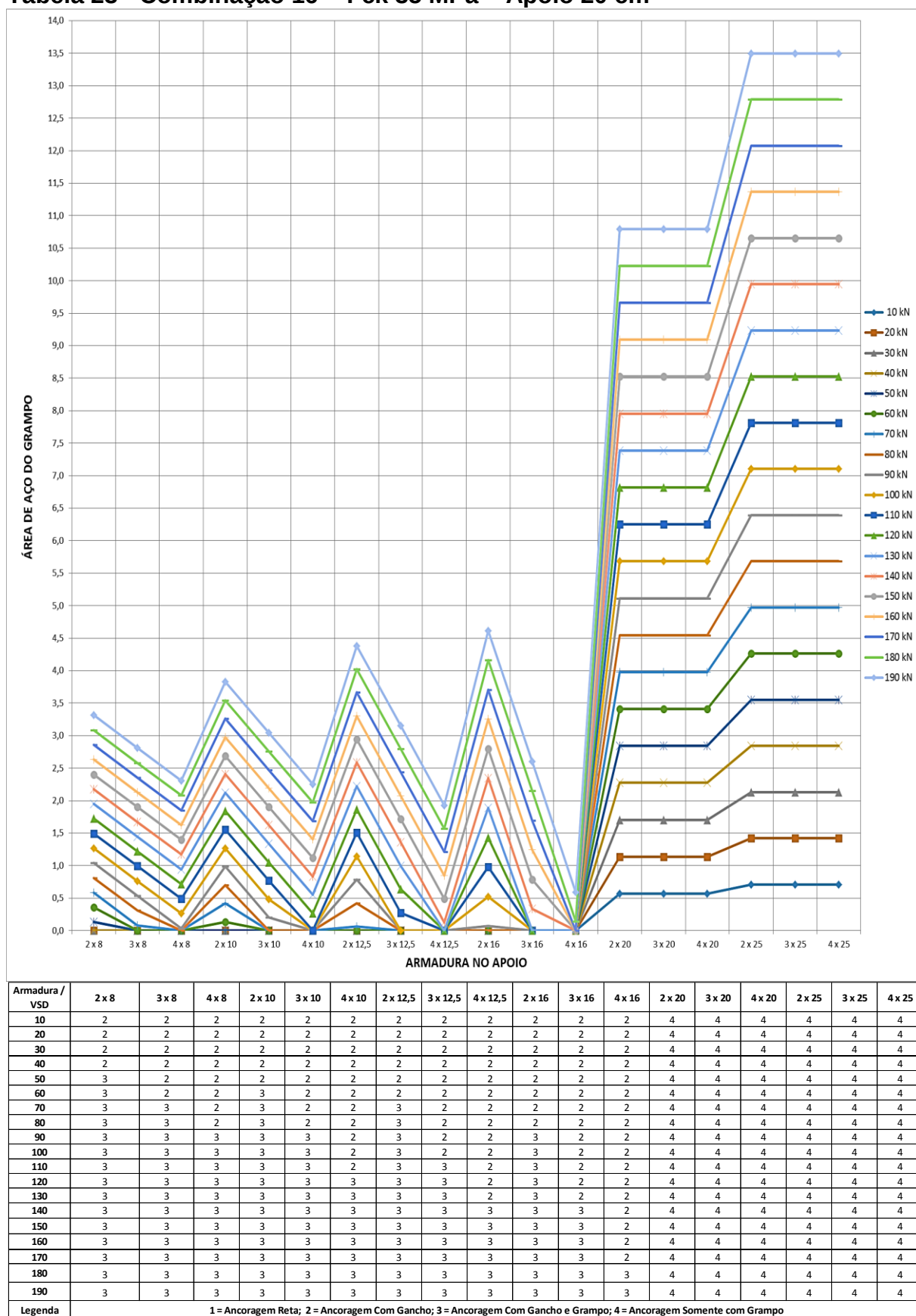


Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
40	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
50	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
60	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
70	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4

Legenda 1 = Ancoragem Retã; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

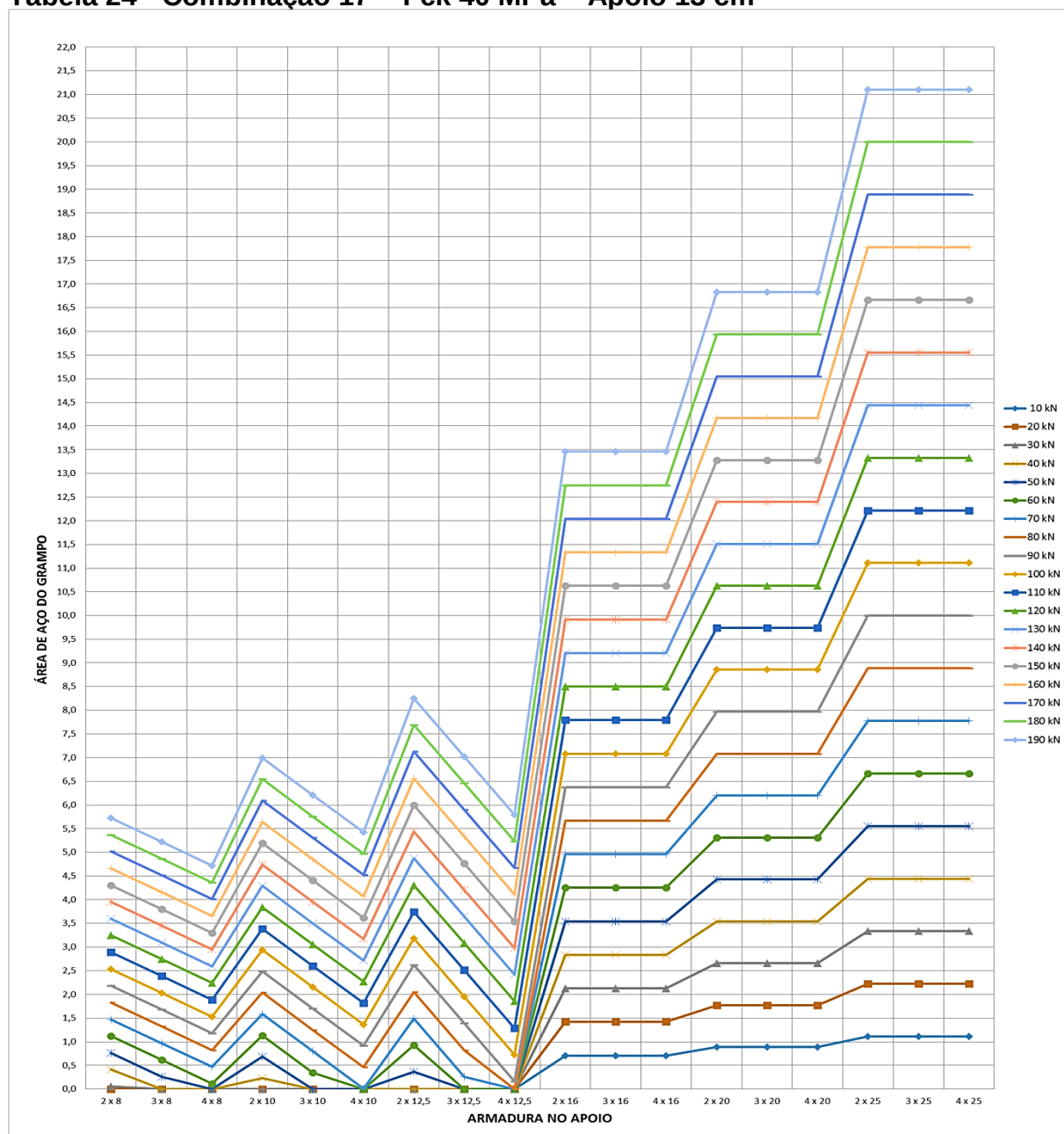
Fonte: Do Autor

Tabela 23 - Combinação 16 - Fck 35 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: Do Autor

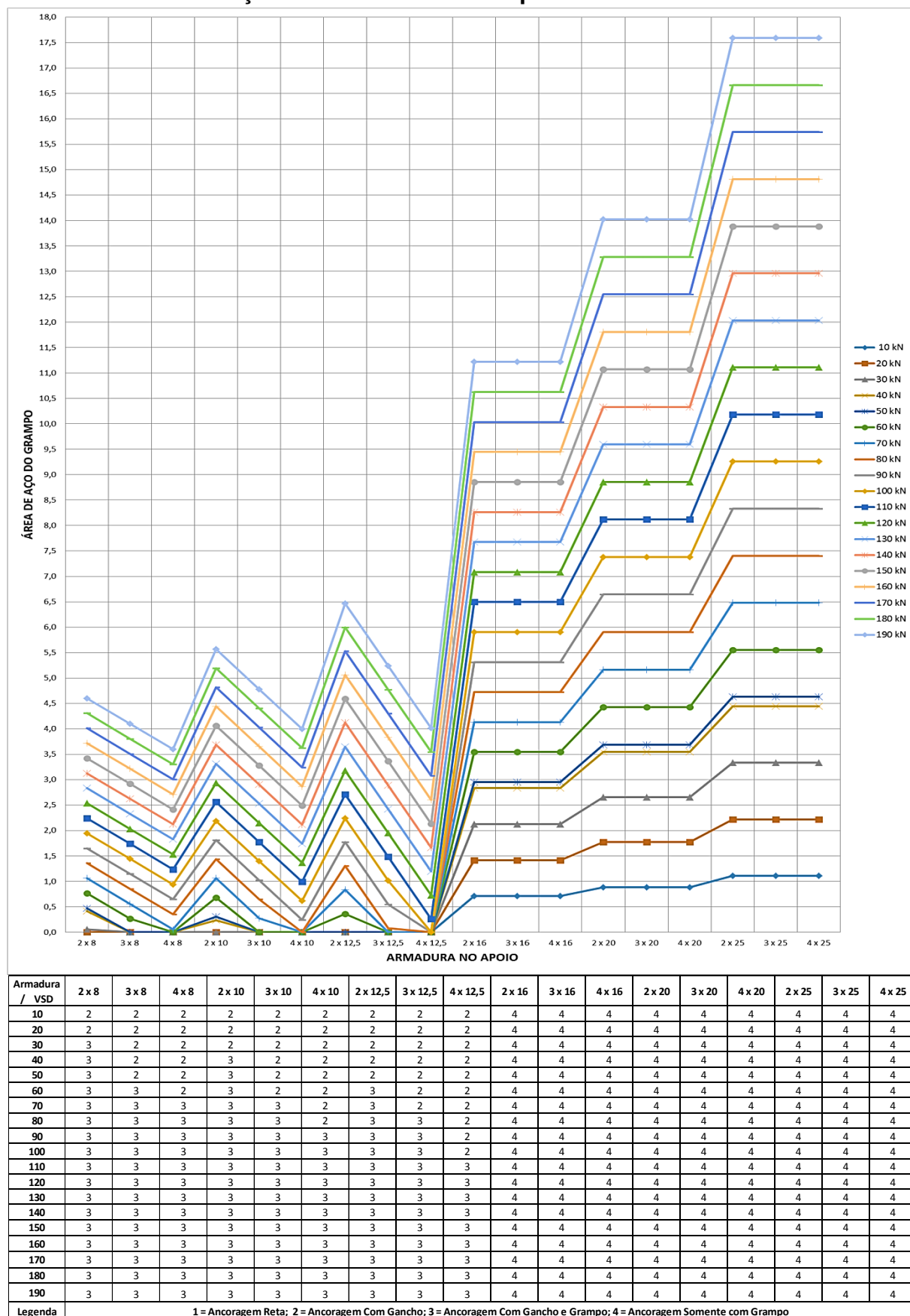
Tabela 24 - Combinação 17 - Fck 40 MPa – Apoio 13 cm



Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
50	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
60	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
80	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Legenda	1 = Ancoragem Retã; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo																	

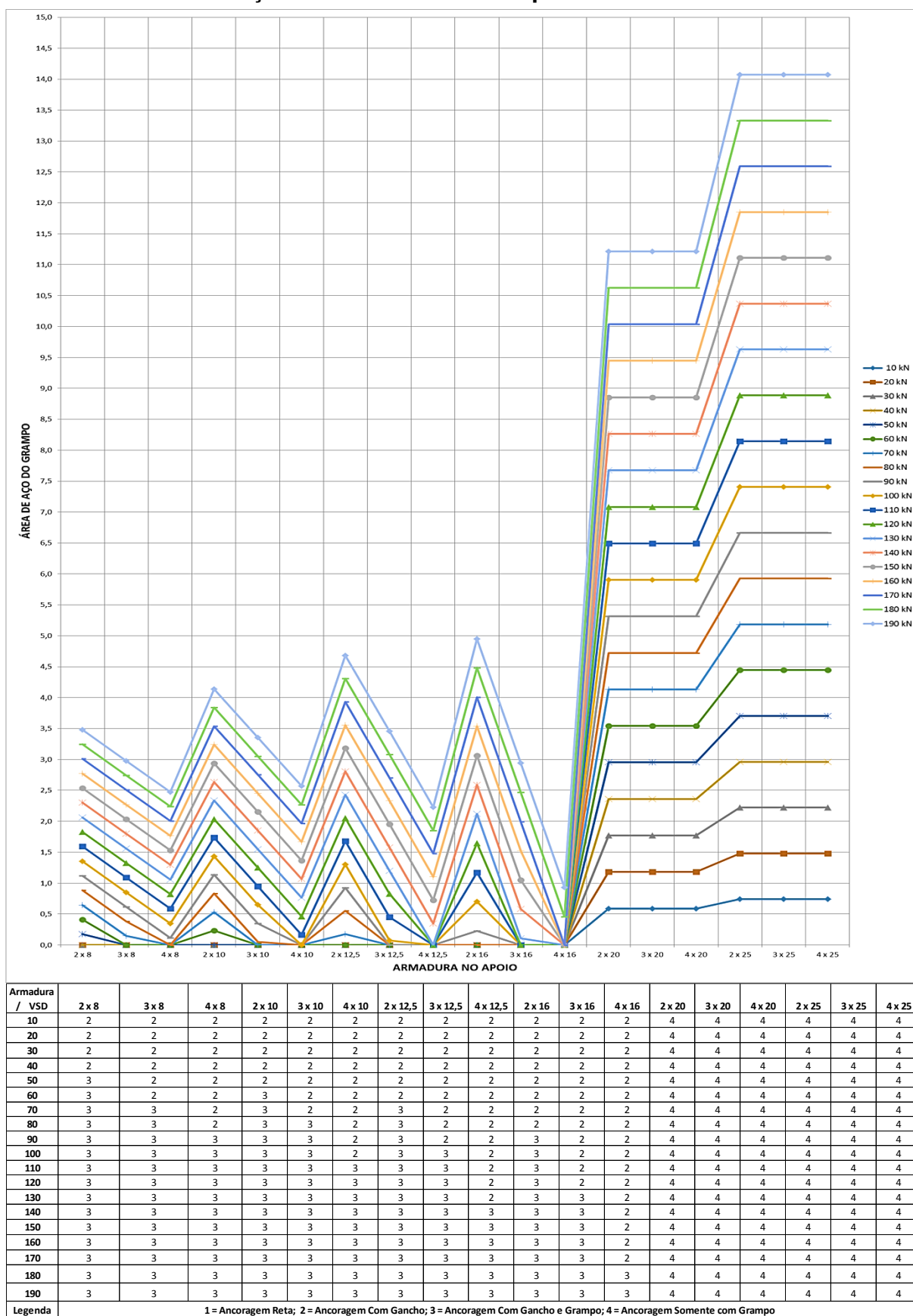
Fonte: Do Autor

Tabela 25 - Combinação 18 - Fck 40 MPa – Apoio 15 cm



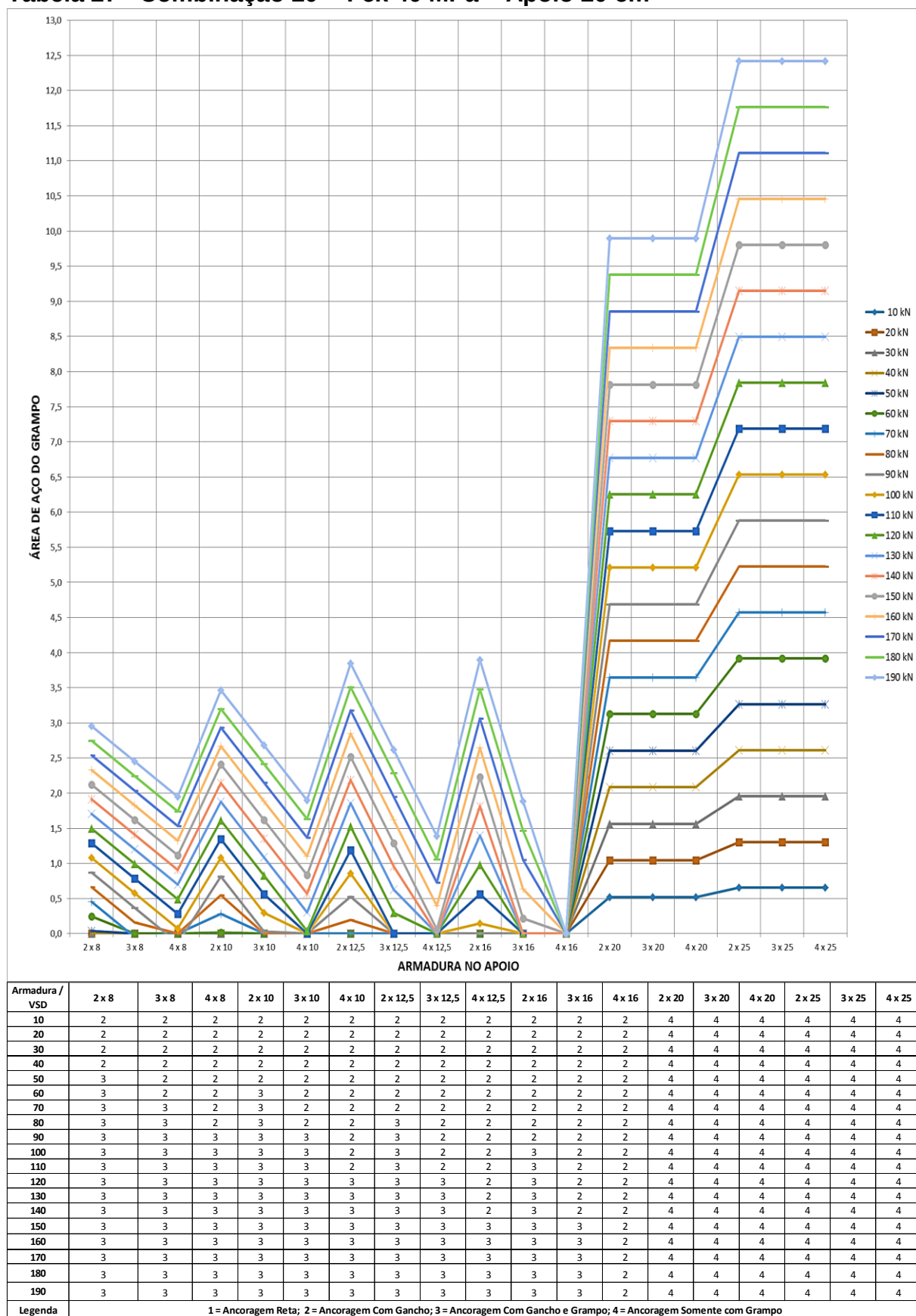
Fonte: Do Autor

Tabela 26 - Combinação 19 - Fck 40 MPa – Apoio 18 cm



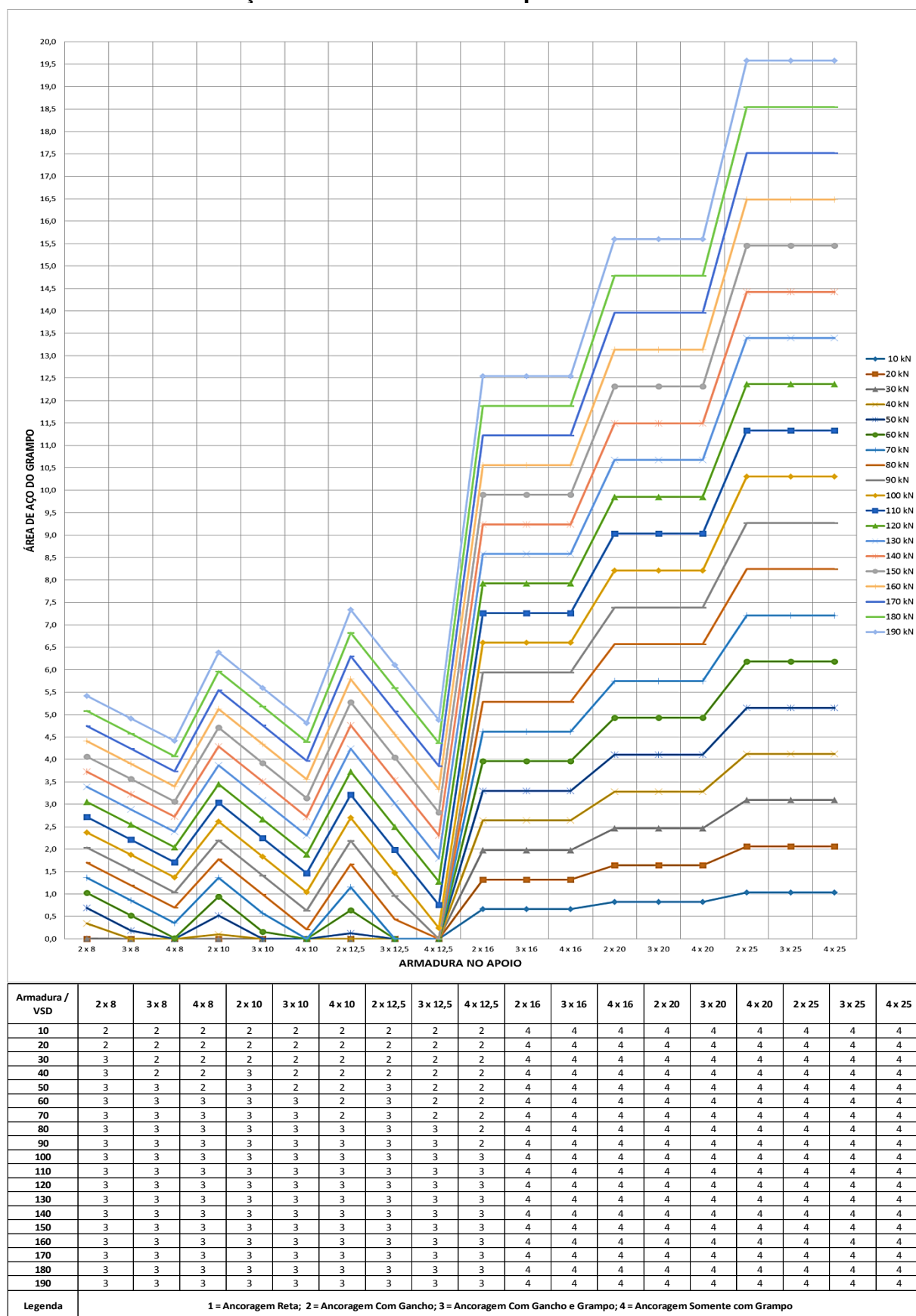
Fonte: Do Autor

Tabela 27 - Combinação 20 - Fck 40 MPa – Apoio 20 cm



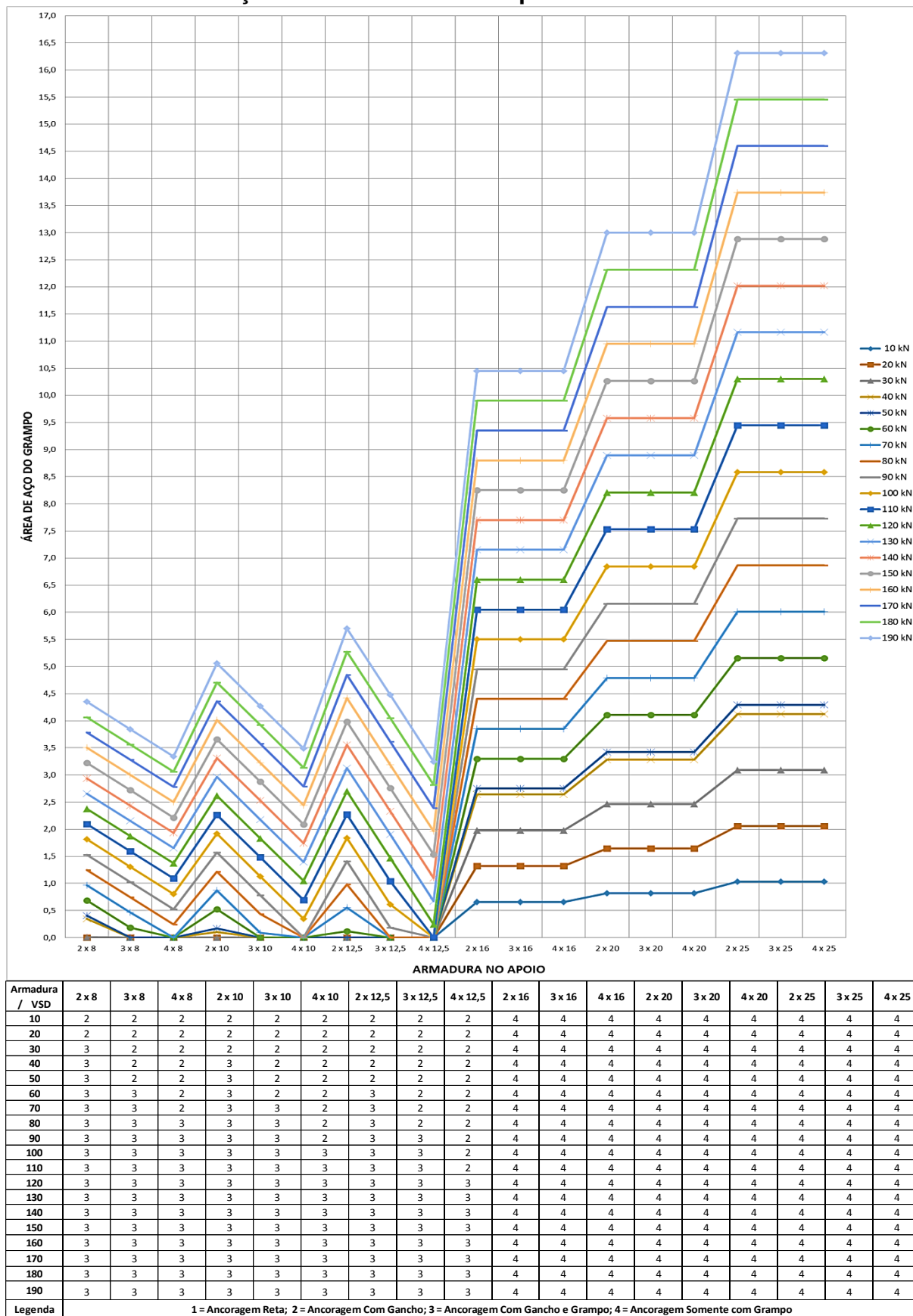
Fonte: Do Autor

Tabela 28 - Combinação 21 - Fck 45 MPa – Apoio 13 cm



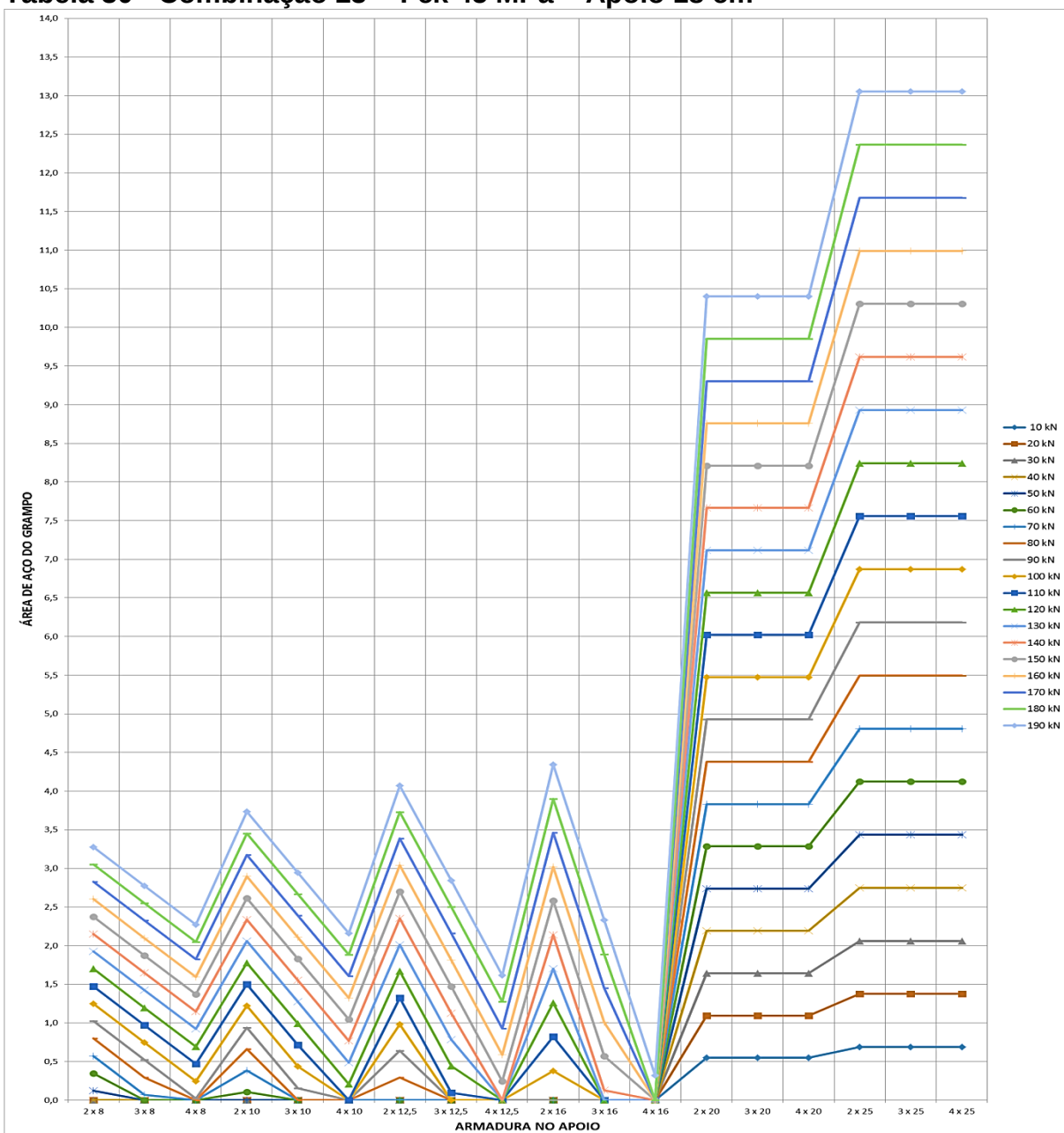
Fonte: Do Autor

Tabela 29 - Combinação 22 - Fck 45 MPa – Apoio 15 cm



Fonte: Do Autor

Tabela 30 - Combinação 23 - Fck 45 MPa – Apoio 18 cm

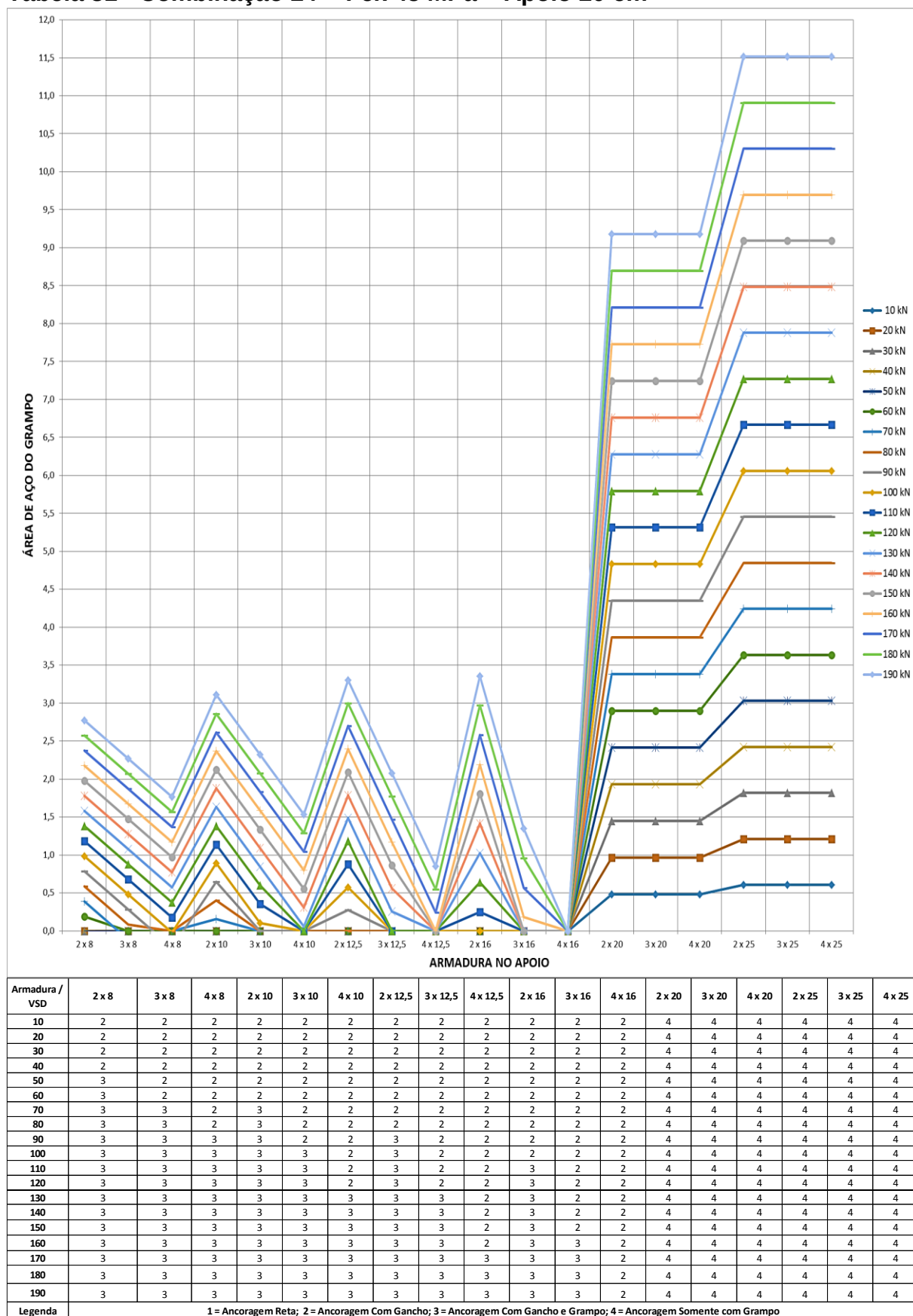


Armadura / VSD	2 x 8	3 x 8	4 x 8	2 x 10	3 x 10	4 x 10	2 x 12,5	3 x 12,5	4 x 12,5	2 x 16	3 x 16	4 x 16	2 x 20	3 x 20	4 x 20	2 x 25	3 x 25	4 x 25
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
50	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
60	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
70	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
80	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
90	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
100	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
110	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
120	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
130	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
140	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4
150	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
160	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
170	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
180	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4
190	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4

Legenda 1 = Ancoragem Reta; 2 = Ancoragem Com Gancho; 3 = Ancoragem Com Gancho e Grampo; 4 = Ancoragem Somente com Grampo

Fonte: Do Autor

Tabela 31 - Combinação 24 - Fck 45 MPa – Apoio 20 cm



Fonte: Do Autor

APÊNDICE C – Tabelas De Grampos

Tabela 32 - Combinação de Grampo FCK 20 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 20 Mpa						
Grampo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro $\varnothing$	As Barra (cm²)	As, grampo (cm²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	27	3	8
2	5,00	0,20	0,79	27	5	10
3	5,00	0,20	1,18	27	8	13
4	5,00	0,20	1,57	27	10	15
5	5,00	0,20	1,96	27	13	18
1	6,30	0,31	0,62	33	3	8
2	6,30	0,31	1,25	33	5	10
3	6,30	0,31	1,87	33	8	13
4	6,30	0,31	2,49	33	11	16
5	6,30	0,31	3,12	33	13	18
1	8,00	0,50	1,01	35	3	8
2	8,00	0,50	2,01	35	6	11
3	8,00	0,50	3,02	35	8	13
4	8,00	0,50	4,02	35	11	16
5	8,00	0,50	5,03	35	14	19
1	10,00	0,79	1,57	44	3	8
2	10,00	0,79	3,14	44	6	11
3	10,00	0,79	4,71	44	9	14
4	10,00	0,79	6,28	44	12	17
5	10,00	0,79	7,85	44	15	20
1	12,50	1,23	2,45	55	3	8
2	12,50	1,23	4,91	55	7	12
3	12,50	1,23	7,36	55	10	15
4	12,50	1,23	9,82	55	13	18
5	12,50	1,23	12,27	55	16	21
1	16,00	2,01	4,02	70	4	9
2	16,00	2,01	8,04	70	7	12
3	16,00	2,01	12,06	70	11	16
4	16,00	2,01	16,08	70	14	19
5	16,00	2,01	20,11	70	18	23
1	20,00	3,14	6,28	87	4	9
2	20,00	3,14	12,57	87	8	13
3	20,00	3,14	18,85	87	12	17
4	20,00	3,14	25,13	87	16	21
5	20,00	3,14	31,42	87	20	25
1	25,00	4,91	9,82	109	5	10
2	25,00	4,91	19,63	109	10	15
3	25,00	4,91	29,45	109	15	20
4	25,00	4,91	39,27	109	20	25
5	25,00	4,91	49,09	109	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor

Tabela 33 - Combinação de Grampo FCK 25 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 25 Mpa						
Grampo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro Ø	As Barra (cm²)	As, grampo (cm²)	Lb, gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	23	3	8
2	5,00	0,20	0,79	23	5	10
3	5,00	0,20	1,18	23	8	13
4	5,00	0,20	1,57	23	10	15
5	5,00	0,20	1,96	23	13	18
1	6,30	0,31	0,62	29	3	8
2	6,30	0,31	1,25	29	5	10
3	6,30	0,31	1,87	29	8	13
4	6,30	0,31	2,49	29	11	16
5	6,30	0,31	3,12	29	13	18
1	8,00	0,50	1,01	30	3	8
2	8,00	0,50	2,01	30	6	11
3	8,00	0,50	3,02	30	8	13
4	8,00	0,50	4,02	30	11	16
5	8,00	0,50	5,03	30	14	19
1	10,00	0,79	1,57	38	3	8
2	10,00	0,79	3,14	38	6	11
3	10,00	0,79	4,71	38	9	14
4	10,00	0,79	6,28	38	12	17
5	10,00	0,79	7,85	38	15	20
1	12,50	1,23	2,45	47	3	8
2	12,50	1,23	4,91	47	7	12
3	12,50	1,23	7,36	47	10	15
4	12,50	1,23	9,82	47	13	18
5	12,50	1,23	12,27	47	16	21
1	16,00	2,01	4,02	60	4	9
2	16,00	2,01	8,04	60	7	12
3	16,00	2,01	12,06	60	11	16
4	16,00	2,01	16,08	60	14	19
5	16,00	2,01	20,11	60	18	23
1	20,00	3,14	6,28	75	4	9
2	20,00	3,14	12,57	75	8	13
3	20,00	3,14	18,85	75	12	17
4	20,00	3,14	25,13	75	16	21
5	20,00	3,14	31,42	75	20	25
1	25,00	4,91	9,82	94	5	10
2	25,00	4,91	19,63	94	10	15
3	25,00	4,91	29,45	94	15	20
4	25,00	4,91	39,27	94	20	25
5	25,00	4,91	49,09	94	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor

Tabela 34 - Combinação de Grampo FCK 30 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 30 Mpa						
Grupo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro ϕ	As Barra (cm ²)	As, grampo (cm ²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	20	3	8
2	5,00	0,20	0,79	20	5	10
3	5,00	0,20	1,18	20	8	13
4	5,00	0,20	1,57	20	10	15
5	5,00	0,20	1,96	20	13	18
1	6,30	0,31	0,62	26	3	8
2	6,30	0,31	1,25	26	5	10
3	6,30	0,31	1,87	26	8	13
4	6,30	0,31	2,49	26	11	16
5	6,30	0,31	3,12	26	13	18
1	8,00	0,50	1,01	27	3	8
2	8,00	0,50	2,01	27	6	11
3	8,00	0,50	3,02	27	8	13
4	8,00	0,50	4,02	27	11	16
5	8,00	0,50	5,03	27	14	19
1	10,00	0,79	1,57	34	3	8
2	10,00	0,79	3,14	34	6	11
3	10,00	0,79	4,71	34	9	14
4	10,00	0,79	6,28	34	12	17
5	10,00	0,79	7,85	34	15	20
1	12,50	1,23	2,45	42	3	8
2	12,50	1,23	4,91	42	7	12
3	12,50	1,23	7,36	42	10	15
4	12,50	1,23	9,82	42	13	18
5	12,50	1,23	12,27	42	16	21
1	16,00	2,01	4,02	54	4	9
2	16,00	2,01	8,04	54	7	12
3	16,00	2,01	12,06	54	11	16
4	16,00	2,01	16,08	54	14	19
5	16,00	2,01	20,11	54	18	23
1	20,00	3,14	6,28	67	4	9
2	20,00	3,14	12,57	67	8	13
3	20,00	3,14	18,85	67	12	17
4	20,00	3,14	25,13	67	16	21
5	20,00	3,14	31,42	67	20	25
1	25,00	4,91	9,82	83	5	10
2	25,00	4,91	19,63	83	10	15
3	25,00	4,91	29,45	83	15	20
4	25,00	4,91	39,27	83	20	25
5	25,00	4,91	49,09	83	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor

Tabela 35 - Combinação de Grampo FCK 35 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 35 Mpa						
Grupo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro ϕ	As Barra (cm ²)	As, grampo (cm ²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	18	3	8
2	5,00	0,20	0,79	18	5	10
3	5,00	0,20	1,18	18	8	13
4	5,00	0,20	1,57	18	10	15
5	5,00	0,20	1,96	18	13	18
1	6,30	0,31	0,62	23	3	8
2	6,30	0,31	1,25	23	5	10
3	6,30	0,31	1,87	23	8	13
4	6,30	0,31	2,49	23	11	16
5	6,30	0,31	3,12	23	13	18
1	8,00	0,50	1,01	24	3	8
2	8,00	0,50	2,01	24	6	11
3	8,00	0,50	3,02	24	8	13
4	8,00	0,50	4,02	24	11	16
5	8,00	0,50	5,03	24	14	19
1	10,00	0,79	1,57	30	3	8
2	10,00	0,79	3,14	30	6	11
3	10,00	0,79	4,71	30	9	14
4	10,00	0,79	6,28	30	12	17
5	10,00	0,79	7,85	30	15	20
1	12,50	1,23	2,45	38	3	8
2	12,50	1,23	4,91	38	7	12
3	12,50	1,23	7,36	38	10	15
4	12,50	1,23	9,82	38	13	18
5	12,50	1,23	12,27	38	16	21
1	16,00	2,01	4,02	48	4	9
2	16,00	2,01	8,04	48	7	12
3	16,00	2,01	12,06	48	11	16
4	16,00	2,01	16,08	48	14	19
5	16,00	2,01	20,11	48	18	23
1	20,00	3,14	6,28	60	4	9
2	20,00	3,14	12,57	60	8	13
3	20,00	3,14	18,85	60	12	17
4	20,00	3,14	25,13	60	16	21
5	20,00	3,14	31,42	60	20	25
1	25,00	4,91	9,82	75	5	10
2	25,00	4,91	19,63	75	10	15
3	25,00	4,91	29,45	75	15	20
4	25,00	4,91	39,27	75	20	25
5	25,00	4,91	49,09	75	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor

Tabela 36 - Combinação de Grampo FCK 40 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 40 Mpa						
Grampo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro Ø	As Barra (cm²)	As, grampo (cm²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	17	3	8
2	5,00	0,20	0,79	17	5	10
3	5,00	0,20	1,18	17	8	13
4	5,00	0,20	1,57	17	10	15
5	5,00	0,20	1,96	17	13	18
1	6,30	0,31	0,62	21	3	8
2	6,30	0,31	1,25	21	5	10
3	6,30	0,31	1,87	21	8	13
4	6,30	0,31	2,49	21	11	16
5	6,30	0,31	3,12	21	13	18
1	8,00	0,50	1,01	22	3	8
2	8,00	0,50	2,01	22	6	11
3	8,00	0,50	3,02	22	8	13
4	8,00	0,50	4,02	22	11	16
5	8,00	0,50	5,03	22	14	19
1	10,00	0,79	1,57	28	3	8
2	10,00	0,79	3,14	28	6	11
3	10,00	0,79	4,71	28	9	14
4	10,00	0,79	6,28	28	12	17
5	10,00	0,79	7,85	28	15	20
1	12,50	1,23	2,45	35	3	8
2	12,50	1,23	4,91	35	7	12
3	12,50	1,23	7,36	35	10	15
4	12,50	1,23	9,82	35	13	18
5	12,50	1,23	12,27	35	16	21
1	16,00	2,01	4,02	44	4	9
2	16,00	2,01	8,04	44	7	12
3	16,00	2,01	12,06	44	11	16
4	16,00	2,01	16,08	44	14	19
5	16,00	2,01	20,11	44	18	23
1	20,00	3,14	6,28	55	4	9
2	20,00	3,14	12,57	55	8	13
3	20,00	3,14	18,85	55	12	17
4	20,00	3,14	25,13	55	16	21
5	20,00	3,14	31,42	55	20	25
1	25,00	4,91	9,82	69	5	10
2	25,00	4,91	19,63	69	10	15
3	25,00	4,91	29,45	69	15	20
4	25,00	4,91	39,27	69	20	25
5	25,00	4,91	49,09	69	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor

Tabela 37 - Combinação de Grampo FCK 45 Mpa

PARÂMETRO DOS GRAMPOS						
Materiais						
Concreto FCK 45 Mpa						
Grampo de Ancoragem no Apoio				Comprimento do Grampo	Altura Mínima do Gancho	Altura Útil Mínima da Viga
Nº Grampos	Diâmetro ϕ	As Barra (cm ²)	As, grampo (cm ²)	Lb,gr	cm	cm
1	5,00	0,20	0,39	16	3	8
2	5,00	0,20	0,79	16	5	10
3	5,00	0,20	1,18	16	8	13
4	5,00	0,20	1,57	16	10	15
5	5,00	0,20	1,96	16	13	18
1	6,30	0,31	0,62	20	3	8
2	6,30	0,31	1,25	20	5	10
3	6,30	0,31	1,87	20	8	13
4	6,30	0,31	2,49	20	11	16
5	6,30	0,31	3,12	20	13	18
1	8,00	0,50	1,01	21	3	8
2	8,00	0,50	2,01	21	6	11
3	8,00	0,50	3,02	21	8	13
4	8,00	0,50	4,02	21	11	16
5	8,00	0,50	5,03	21	14	19
1	10,00	0,79	1,57	26	3	8
2	10,00	0,79	3,14	26	6	11
3	10,00	0,79	4,71	26	9	14
4	10,00	0,79	6,28	26	12	17
5	10,00	0,79	7,85	26	15	20
1	12,50	1,23	2,45	32	3	8
2	12,50	1,23	4,91	32	7	12
3	12,50	1,23	7,36	32	10	15
4	12,50	1,23	9,82	32	13	18
5	12,50	1,23	12,27	32	16	21
1	16,00	2,01	4,02	41	4	9
2	16,00	2,01	8,04	41	7	12
3	16,00	2,01	12,06	41	11	16
4	16,00	2,01	16,08	41	14	19
5	16,00	2,01	20,11	41	18	23
1	20,00	3,14	6,28	51	4	9
2	20,00	3,14	12,57	51	8	13
3	20,00	3,14	18,85	51	12	17
4	20,00	3,14	25,13	51	16	21
5	20,00	3,14	31,42	51	20	25
1	25,00	4,91	9,82	64	5	10
2	25,00	4,91	19,63	64	10	15
3	25,00	4,91	29,45	64	15	20
4	25,00	4,91	39,27	64	20	25
5	25,00	4,91	49,09	64	25	30

* Comprimento do Grampo considerado a partir da face do apoio

Fonte: Do Autor