

ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SOB FLEXÃO SIMPLES QUANTO A DUCTILIDADE

Ronan Vieira de Carvalho Filho

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Vila Velha.
E-mail: <ronanfilho@live.com>

Rodrigo José Costa Nóbrega

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco,
Engenheiro no Departamento de Estradas de Rodagem do Espírito Santo DER-ES Docente Universidade
Vila Velha UVV. E-mail: <rodrigo.nobrega@uvv.br>.

Flavia Giacomini Pimentel de Almeida

Engenheira Civil, Universidade Federal do Espírito Santo UFES, Mestre em Engenharia de Transportes,
Instituto Militar de Engenharia IME, Coordenadora e Docente Universidade Vila Velha UVV.
E-mail: <flaviagp@uvv.br>.

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados do dimensionamento de vigas em concreto armado e a determinação do limite de armadura de flexão possível de acrescentar a uma viga sem que a mesma perca sua condição de ductilidade segundo NBR6118:2014. Desta forma foi possível avaliar condições de execução mal sucedida, onde, operários da construção civil podem alterar as condições de ductilidade de uma viga através do acréscimo de armadura sem avaliação prévia. No dimensionamento, foram avaliadas vigas com diferentes valores de f_{ck} , altura útil e momento característico. Através desta análise foi possível determinar a representatividade de cada fator na diferença entre a área de aço calculada e a área de aço limite (considerando o limite do domínio 3). Foi determinado como a variável mais importante a resistência do concreto, deixando clara a necessidade de análises técnicas rigorosas no controle de qualidade dos materiais envolvidos na execução da concretagem.

Palavras-chave: Concreto armado. Vigas de concreto armado. Ductilidade.

INTRODUÇÃO

O concreto armado é uma combinação de alta importância na construção civil. Sua utilização é difundida por todas as áreas da engenharia e arquitetura. O concreto, material de considerável resistência a compressão, aliado ao aço, que possui excelente resistência a tração, possibilitaram a existência de elementos solicitados por tensões de tração e compressão numa mesma secção. As vigas, estruturas solicitadas por flexão, apresen-

tam tensões nos dois sentidos, sejam na tração ou na compressão de suas fibras, desta forma, a utilização do concreto armado é apropriado em sua construção, possibilitando a existência de grandes vãos estruturados por este material composto. Vigas são elementos estruturais que possuem a função de receber as solicitações provenientes das lajes e transferi-las para seus apoios (pilares) através de suas reações de apoio.

No seu dimensionamento são analisadas conforme o estado-limite de serviço e estado-limite

último. Em serviço, a estrutura deve apresentar suas condições de conforto, durabilidade, aparência e boa utilização. No estado-limite último as vigas são avaliadas quanto ao esgotamento de sua capacidade resistente, determinando sua ruína.

Uma estrutura de concreto armado deve apresentar condições de ductilidade, ou seja, a relação entre o concreto e o aço deve ocorrer de forma em que caso haja solicitação superior à prevista em cálculo estrutural, o elemento apresentará deformações até sua ruptura. Caso as condições de ductilidade não sejam respeitadas, a estrutura pode entrar em colapso sem apresentar deformações, assim, caracterizando uma ruptura frágil. Esta ruptura pode ocorrer através do acréscimo de armadura que ultrapasse o limite de ductilidade do elemento, isso determina a necessidade do aumento do controle de qualidade durante a execução da estrutura.

METODOLOGIA

Para a realização dos dimensionamentos, foram avaliadas vigas com diferentes valores de f_{ck} , altura útil e momento característico.

Os f_{cks} analisados são todos presentes na NBR 6118:2014, sendo eles: 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35MPa, 40Mpa, 45 MPa, 50 MPa, 60 Mpa, 70 MPa, 80 MPa e 90 MPa.

Os valores de altura útil foram determinados por múltiplos de cinco, iniciando com d (altura útil) = 40cm, assim, os valores avaliados são: $d=40$ cm, $d=45$ cm, $d=50$ cm, $d=55$ cm, $d=60$ cm, $d=65$ cm, $d=70$ cm, $d = 75$ cm, $d = 80$ cm, $d=85$ cm e $d = 90$.

As determinações dos momentos característicos analisados foram baseadas no caso de carregamento mostrado na figura 1:

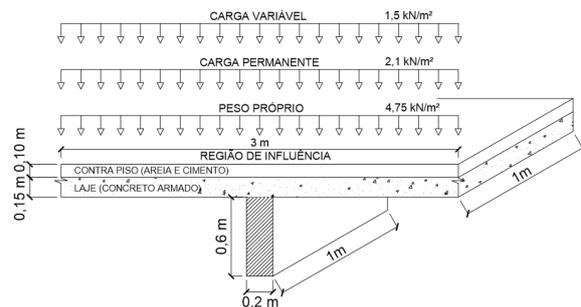


Figura 1. Caso de carregamento

Conforme NBR6120:1980, os valores dos pesos específicos e carga acidental foram transformados em carga uniformemente distribuída, conforme Tabela 1:

Item	Carga	Carga/m
Concreto Armado; p	25 kN/m ³	14,25 kN/m
Argamassa de Cimento e Areia; p	21 kN/m ³	6,3 kN/m
Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro; a	1,5 kN/m ²	4,5 kN/m
Total:	-	25,05 kN/m
a: carga variável		
p: carga permanente		

Tabela 1. Carregamentos.

Fonte: adaptada de NBR6120:1980.

Considerando a carga uniformemente distribuída total calculada, pode-se obter o valor do momento fletor característico apresentado na Figura 2:

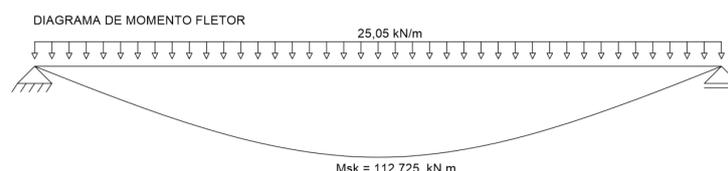


Figura 2. Diagrama de momento fletor.

Os valores adotados de momentos fletores característicos foram determinados variando o M_{sk} calculado na figura 2 em 5 kNm para mais e para menos, assim formando um plano amostral contendo dez valores de momentos característicos,

sendo eles: $M_{sk} = 92,725$ kNm, $M_{sk} = 97,725$ kNm, $M_{sk} = 102,725$ kNm, $M_{sk} = 107,725$ kNm, $M_{sk} = 112,725$ kNm, $M_{sk} = 117,725$ kNm, $M_{sk} = 122,725$ kNm, $M_{sk} = 127,725$ kNm, $M_{sk} = 132,725$ kNm, $M_{sk} = 137,725$ kNm e $M_{sk} = 142,725$ kNm.

DUCTILIDADE EM VIGAS

Para o adequado comportamento dúctil de vigas e lajes no Estado-Limite último, a relação entre a profundidade da linha neutra e a altura útil do elemento deve obedecer a seguinte determinação apresentada pela NBR 6118:2014:

- $x/d \leq 0,45$, para concretos com $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$;
- $x/d \leq 0,35$, para concretos com $50\text{MPa} < f_{ck} \leq 90\text{MPa}$.

Garantindo esta condição, a estrutura pode ser determinada como dúctil.

As deformações específicas do concreto e do aço ao longo de uma seção transversal retangular com armadura simples e submetida a ações normais, podem ser caracterizadas por cinco domínios de deformação, mostrados na Figura 3. Estes domínios apresentam pares de deformação (ϵ_c e ϵ_s) e possibilidades de ruína da estrutura. (CARVALHO, 2014).

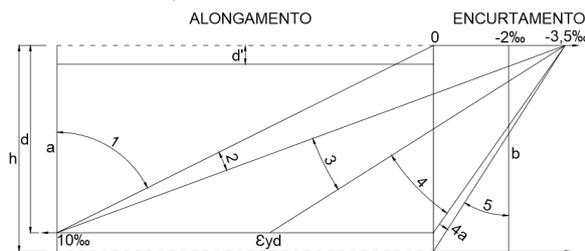


Figura 3. Domínios de deformação.

Fonte: adaptada da figura 17.1 da NBR6118:2014.

VARIAÇÕES DA ALTURA ÚTIL

A altura útil de uma viga interfere diretamente no dimensionamento da mesma, este parâmetro de cálculo pode ser manipulado de forma que quanto maior seu módulo, menor será a área de aço necessária. Esta formulação pôde ser apresentada graficamente abaixo:

Considerando $f_{ck} = 40\text{MPa}$ e $M_{sk} = 112,725\text{ kNm}$ temos:

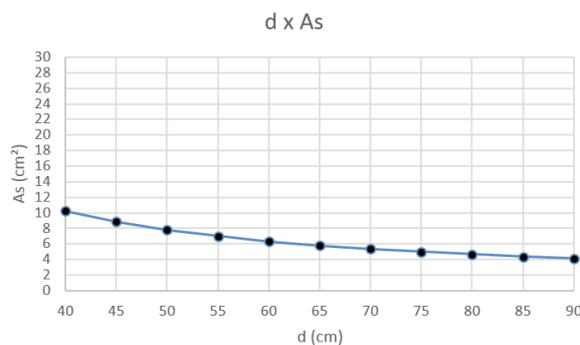


Figura 4. Área de aço x altura útil.

Entretanto, considerando como área de aço limite aquela que determine a passagem do domínio 3 para 4, aumentando a altura útil, a área de aço limite também aumentará, como apresentado na figura 5:

Considerando $f_{ck} = 40$ e $M_{sk} = 112,725\text{ kNm}$, temos:

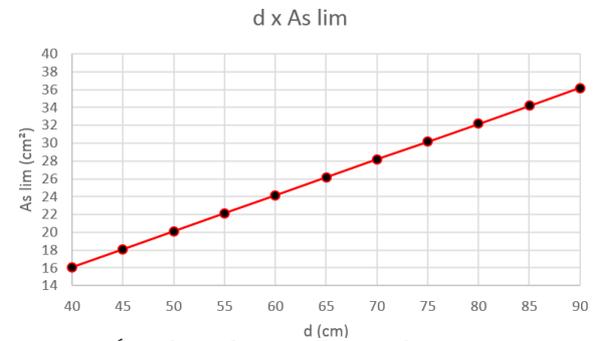


Figura 5. Área de aço limite x altura útil.

A subtração dos valores das figuras 4 e 5 apresenta a quantidade de aço que pode ser acrescentado a uma viga sem que a mesma mude sua condição de ductilidade, desta forma, é possível mostrar graficamente a amplitude - área de aço limite menos a área de aço calculada (ΔA_s) - em função da altura útil.

Considerando $f_{ck} = 40$ e $M_{sk} = 112,725\text{ kNm}$, temos:

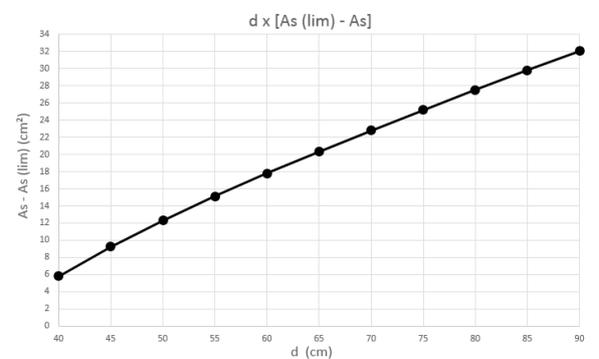


Figura 6. Área de aço limite - Área de aço x altura útil.

Foi visto a crescente variação entre as áreas de aço, assim, ficou demonstrado que quanto maior for a altura útil, mais segura estará a viga em relação a sua ductilidade.

VARIAÇÕES DO FCK

A resistência característica a compressão do concreto, também conhecida como f_{ck} , é um índice de relevância no cálculo estrutural.

Os elementos solicitados por flexão, como as vigas, sofrem esforços de tração e compressão em

uma mesma seção. As tensões de compressão são diretamente relacionadas ao f_{ck} do concreto que compõe determinado elemento.

Neste contexto é possível relacionar a resistência do material (concreto) ao dimensionamento de vigas, onde quanto maior o valor do f_{ck} , menor será a área de aço necessária para o elemento. Esta relação é apresentada na figura 7:

Considerando $d=60$ cm e $M_{sk}=122,725$ kNm, temos:

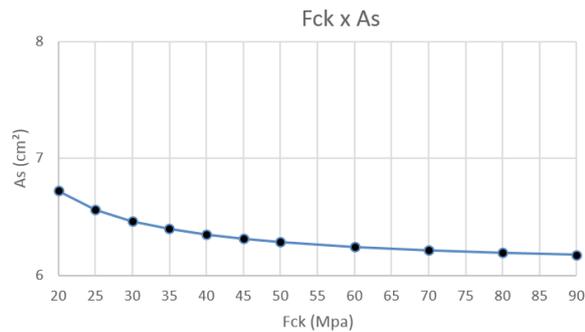


Figura 7. Área de aço x f_{ck} .

Quando analisado em sua relação a área de aço limite (considerando o limite do domínio 3, segundo NBR 6118:2014), o f_{ck} apresentou grande inclinação, conforme apresentado na figura 8.

Considerando $d=60$ cm e $M_{sk}=122,725$ kNm, temos:

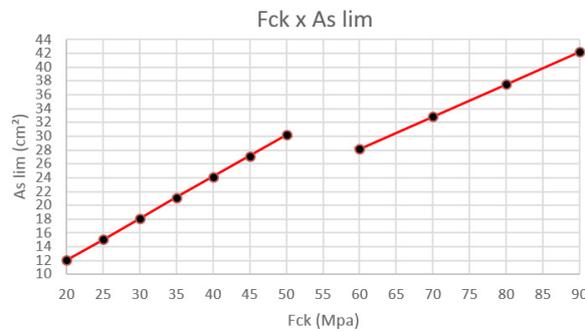


Figura 8. Área de aço limite x f_{ck} .

A subtração dos valores das figuras 7 e 8 apresenta a quantidade de aço que pode ser acrescentado a uma viga sem que a mesma mude sua condição de ductilidade, desta forma, é possível demonstrar graficamente o valor de ΔA_s , apresentado na figura 9.

As descontinuidades apresentadas nas figuras 8 e 9, ocorrem devido a diferenciação do parâmetro "x/d" entre f_{cks} até 50 Mpa e f_{cks} maiores do que 50 Mpa.

Na figura 9 foi demonstrada a grande importância do f_{ck} na estrutura de uma viga. Visto que com a relevante inclinação da função, fica claro

Considerando $d=60$ cm e $M_{sk} = 112,725$ kNm, temos:

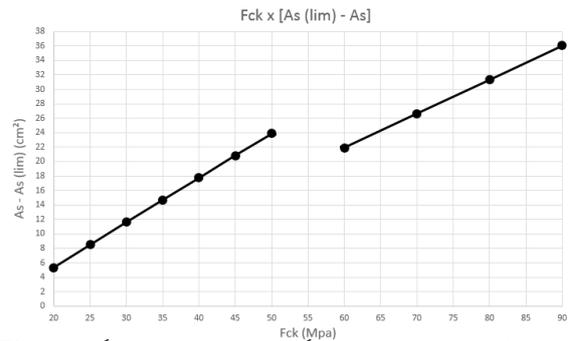


Figura 9. Área de aço limite - Área de aço x altura útil.

que quanto maior for a classe do f_{ck} , mais segura estará a estrutura quanto a eventuais acréscimos de armadura que poderiam modificar a condição de ductilidade da viga.

As variações de f_{ck} chegaram a apresentar acréscimo de aproximadamente 4 cm^2 no ΔA_s ao aumentar 5 MPa (f_{ck}) de resistência no dimensionamento das vigas.

VARIAÇÕES DO M_{SK}

O valor do momento característico é fundamental no dimensionamento das armaduras nas estruturas de concreto armado. Nas vigas, o momento solicitante influencia na quantidade de aço presente na estrutura e na posição da linha neutra do elemento. A linha neutra é uma característica de grande relevância, visto que determina o limite geométrico entra as tensões de tração e compressão presentes numa mesma seção.

O momento característico é diretamente proporcional a área de aço necessária para o dimensionamento das estruturas. Esta relação pôde ser apresentada na figura 10.

Considerando $d=60$ cm e $f_{ck} = 40$ Mpa, temos:

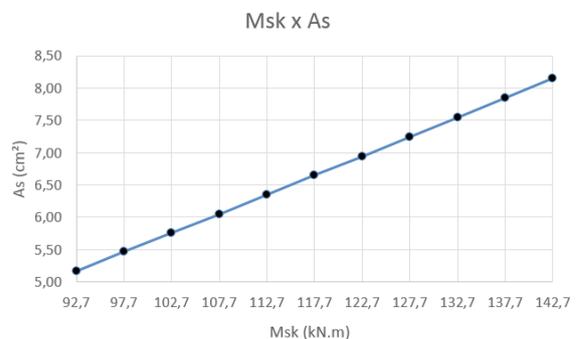


Figura 10. Área de aço x f_{ck} .

Analisando a área de aço limite considerando a condição limite de ductilidade apresentada

pela NBR 6118:2014, as variações de momento característico não determinam variações na área de aço limite, assim, a função é apresentada como uma função constante. Esta representação pôde ser apresentada na figura 11.

Considerando $d = 60$ cm e $f_{ck} = 40$ Mpa, temos:

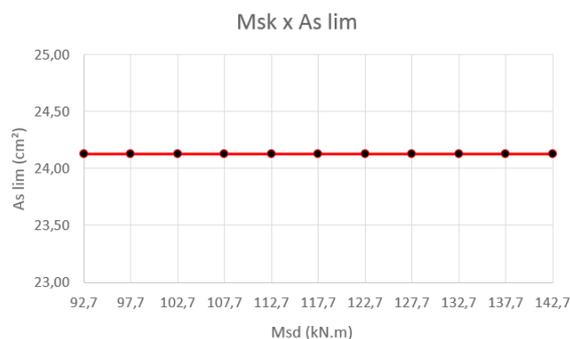


Figura 11. Área de aço limite x f_{ck} .

Subtraindo os valores das figuras 10 e 11 obtemos a quantidade de aço que pode ser acrescentado em uma viga de concreto armado sem que o elemento mude sua condição de ductilidade, conforme apresentado na figura 12.

Considerando $d = 60$ cm e $f_{ck} = 40$ Mpa, temos:

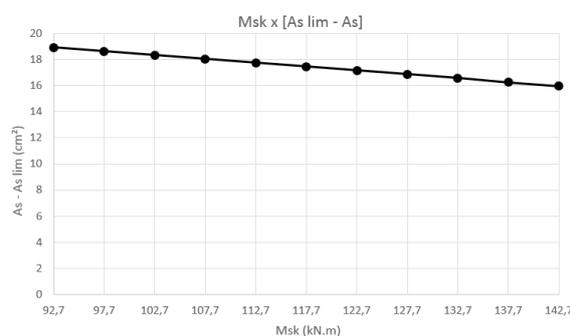


Figura 12. Área de aço limite - Área de aço x altura útil.

Devido a área de aço limite apresentar-se constante diante das variações de momento característico, a diferença entre as áreas de aço limite e área de aço calculada não apresentaram grandes variações em diferentes valores de momento característico, determinando uma pouca representatividade do momento em relação a segurança da estrutura quanto a eventuais acréscimos de aço nas vigas de concreto armado, podendo alterar a condição de ductilidade da peça.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises gráficas dos dimensionamentos de vigas de concreto armado com variações de

altura útil, f_{ck} e M_{sk} puderam determinar a relevância dos três fatores na diferença entre a área de aço limite, considerando o limite de ductilidade da peça, e a área de aço calculada. Desta forma foi possível determinar quais parâmetros possuem mais e menos representatividade quanto a segurança da estrutura em relação ao assunto abordado.

As variações de altura útil determinaram a grande importância da geometria das vigas, onde por muitas vezes suas dimensões são limitadas por solicitações arquitetônicas e neste contexto, devem receber análises criteriosas quanto aos seus limites de ductilidade.

As variações de momento característico demonstraram a pouca representatividade deste fator para o limite de ductilidade do elemento, visto que apresentou uma função constante na determinação das áreas de aço limite.

O f_{ck} , valor que representa a resistência do concreto, apresentou os valores mais representativos nas análises. Ao determinar variações de 5 Mpa em sua resistência, o concreto proporcionou aumento de aproximadamente 4 cm² na diferença entre a área de aço limite e a área de aço calculada.

Neste contexto tornou-se ainda mais importante o controle de qualidade do concreto na construção civil. Para isso é necessário que seja executado um planejamento que consiste em: definir as propriedades desejadas, os materiais utilizados, a metodologia para definição do traço, equipamentos para a mistura, transporte, adensamento e cura. (CARVALHO, 2014).

Muitos fatores podem influenciar nas características finais do concreto, e este material deve atender as propriedades desejadas no seu planejamento para que problemas como a ruptura frágil não ocorra em uma estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações - procedimento. Rio de Janeiro, 1980.
- CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 4. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.