

COMPARATIVO DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE VIGA DE CONCRETO ARMADO CONSIDERANDO CONCRETO DOSADO EMPIRICAMENTE E CONCRETO DE NORMA

COMPARISON OF THE PRODUCTION COST OF REINFORCED CONCRETE BEAM CONSIDERING EMPIRICALLY METERED CONCRETE AND STANDARD CONCRETE

¹PEREIRA, Wellington; ²AMANCIO, Daniel de Traglia.

^{1e2}Departamento de Engenharia Civil – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

RESUMO

O presente trabalho faz um comparativo no custo de produção de uma viga de concreto armado, considerando um concreto que foi dosado empiricamente, cuja resistência média de seis corpos de prova foi de 14,17 MPa, e, um concreto usinado que deve apresentar uma resistência característica de 30 MPa na compressão. Para o estudo, foi modelado no software Ftool uma viga bia apoiada com um carregamento distribuído, com um valor de carga usualmente obtida nas construções de pequenos sobrados residenciais. No dimensionamento, considerando os dois valores de resistência do concreto, as vigas foram dimensionadas para atender critérios normativos quanto a deformação excessiva e a abertura de fissura. Após satisfeitas essas condições, foi feito o detalhamento e calculada a quantidade necessária de aço, concreto e fôrmas para a produção das vigas. Os resultados mostram que o preparo do concreto na obra pode resultar em estruturas mais dispendiosas, além de menos seguras, devido a baixa resistência do concreto, quando o preparo é realizado de maneira empírica.

Palavras-chave: Concreto Empírico; Vigas De Concreto; Comparativo de Custos.

ABSTRACT

The present work makes a comparison of the production cost of a reinforced concrete beam, considering a concrete that was empirically dosed, whose average resistance of six specimens was 14.17 MPa, and a machined concrete that must present a resistance characteristic of 30 MPa in compression. For the study, a supported beam with a distributed load was modeled in the Ftool software, with a load value usually obtained in the construction of small residential houses. In the design, considering the two concrete resistance values, the beams were dimensioned to meet normative criteria regarding excessive deformation and crack opening. After these conditions were met, the detailing was carried out and the necessary quantity of steel, concrete and formwork for the production of the beams was calculated. The results show that the preparation of concrete on site can result in more expensive structures, as well as being less safe, due to the low strength of the concrete, when the preparation is carried out empirically.

Keywords: Empirical Concrete; Concrete Beams; Cost Comparison.

INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2008 p. 3). Por ser um material que se adapta bem a qualquer tipo de fôrma, quando no estado fresco, sua utilização é muito ampla, desde pequenas construções até grandes pontes e barragens.

Embora seja um material muito popular na área da construção civil, o preparo do concreto muitas vezes é feito sem seguir critérios técnicos. Rosa

(2016), constatou este problema ao estudar a resistência de concretos produzidos para obras de pequeno porte na cidade de Maringá/PR.

Em todas as obras que acompanhou, Rosa (2016) diz que o traço do concreto era determinado pelo pedreiro ou empreiteiro, baseado em sua experiência nos anos de profissão. Como resultado obtido nesse mapeamento, a resistência média do concreto resultou em 6,72 MPa. Muito abaixo do que a ABNT NBR 6118:2023 estabelece como resistência mínima para concreto em regiões urbanas, que é de 25 MPa.

Considerando estudos que já foram realizados, com o objetivo de conhecer a qualidade do concreto dosado em obras de pequeno porte, este trabalho visa fazer uma comparação no custo de produção de uma viga de concreto armado, mas dimensionada para dois valores de resistência do concreto.

A ideia é calcular a viga com uma resistência média obtida de concreto dosado empiricamente e comparar com uma viga calculada com concreto com resistência de norma. Ao final fazer um comparativo de custo das duas vigas.

MATERIAL E MÉTODOS

Explicação geral dos materiais e métodos

Neste item serão apresentados os materiais e métodos necessários para o dimensionamento da viga modelo, considerando duas resistências do concreto para posterior comparativo de custos.

Inicialmente haverá a citação de trabalhos acadêmicos que se basearam em estudo de campo e ensaios de concreto dosado em obra. Haverá a coleta das resistências dos concretos obtidas nas obras em que os pesquisadores acompanharam.

O dimensionamento irá considerar a resistência média dos corpos de prova de uma das obras estudadas. Para a estimativa do consumo de materiais será considerado o que foi informado para a produção de 1 m³ de concreto para a obra analisada.

A comparação do custo de produção se dará após finalizada as etapas de dimensionamento e detalhamento da viga, com os dois valores de resistências do concreto. Será apresentado todas as equações utilizadas neste trabalho para o dimensionamento e verificação das vigas.

Qualidade do concreto em obras de Maringá/PR

Com o propósito de verificar a qualidade dos concretos usados na construção de prédios residenciais e comerciais, de pequeno porte, na região norte de Maringá/PR, Rosa (2016) acompanhou o preparo de seis obras e ensaiou diversos concretos, dosados sem o acompanhamento técnico de um engenheiro civil. Sendo os traços executados de acordo com o conhecimento dos pedreiros.

Embora não forneça a resistência obtida em cada corpo de prova, Rosa (2016) afirma que a resistência média foi de 6,72 MPa.

Qualidade do concreto em obras de Crateús/CE

Beserra (2022), que acompanhou o preparo de concreto em três obras na cidade de Crateús/CE, informa que não é comum o controle de qualidade do concreto nas obras executadas na cidade.

Como resultado da pesquisa que realizou, Beserra (2022) traz os seguintes dados sobre a composição do concreto: a relação a/c (água/cimento) das misturas variou entre 0,6 e 0,8 e com consumo de cimento entre 212,40 kg/m³ e 292,68 kg/m³, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de material para produção de 1 m³ de concreto por obra - Crateús/CE - 2022

| Material | Obra A1 | Obra A2 | Obra A3 |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Massa (kg) | Massa (kg) | Massa (kg) |
| Cimento | 212,40 | 285,37 | 292,68 |
| Areia | 1.036,84 | 1.284,19 | 1.258,54 |
| Brita | 1.023,33 | 616,41 | 614,63 |
| Água | 127,44 | 214,03 | 234,15 |

Fonte: BESERRA (2022)

Para cada obra, Beserra (2022) coletou três misturas de concreto e moldou dois corpos de prova para cada mistura, num total de seis corpos de prova por obra. Os valores médios das resistências dos concretos e desvios padrão foram compilados e estão apresentados na tabela 2.

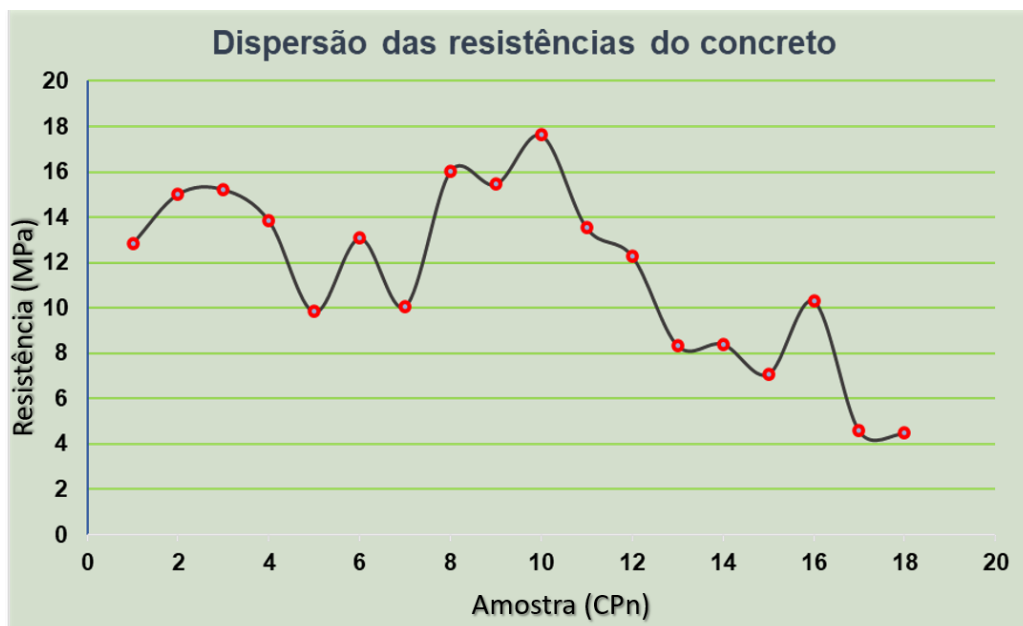
Tabela 2 – Valores de média e desvio padrão de cada obra em Crateús/CE.

| Dado estatístico | Obra 1 | Obra 2 | Obra 3 |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Média | 13,31 (MPa) | 14,17 (MPa) | 7,20 (MPa) |
| Desvio padrão | 1,79 | 2,51 | 2,11 |

Fonte: Dados extraídos e compilados de Beserra (2022).

No gráfico 1, pode-se notar que existe muita variação na resistência do concreto. O gráfico representa no eixo vertical, a resistência em MPa e na horizontal, a quantidade de corpos de prova ensaiados. Considerando as três obras pesquisadas, o desvio padrão é de 3,80.

Gráfico 1 – Gráfico de dispersão ilustrando a variação nos valores das resistências dos corpos de prova das obras de Crateús/CE.



Fonte: Dados extraídos e compilados de Beserra (2022).

Critérios normativos da ABNT NBR 6118:2023

A ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto, é a norma brasileira para o dimensionamento de estruturas de concreto armado e protendido.

Esta norma estabelece requisitos de qualidade que as estruturas de concreto devem atender, como por exemplo: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Na tabela 3, são apresentados os valores mínimos da relação água cimento (a/c) e classe do concreto para cada classe de agressividade ambiental.

Em se tratando de obra tendo como a estrutura o concreto armado (CA) e que seja executada em área urbana (CAA II), a tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2023) impõe como requisitos mínimos uma relação água cimento (a/c) menor ou igual a 0,60 e classe do concreto igual ou maior que a classe C25, conforme tabela 3. O estudo em questão se refere às condições da classe de agressividade ambiental II.

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

| Concreto ^a | Tipo ^{b, c} | Classe de agressividade (Tabela 6.1) | | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | IV |
| Relação água/cimento em massa | CA | ≤ 0,65 | ≤ 0,60 | ≤ 0,55 | ≤ 0,45 |
| | CP | ≤ 0,60 | ≤ 0,55 | ≤ 0,50 | ≤ 0,45 |
| Classe de concreto (ABNT NBR 8953) | CA | ≥ C20 | ≥ C25 | ≥ C30 | ≥ C40 |
| | CP | ≥ C25 | ≥ C30 | ≥ C35 | ≥ C40 |

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Tabela 7.1 da norma NBR 6118 (ABNT, 2023)

Parâmetros que influenciam na qualidade do concreto

Sobre a qualidade do concreto endurecido, Barboza *et al.* (2022, p. 359) diz que “para produzir um concreto endurecido de boa qualidade, o concreto no estado fresco deve ser definido por propriedades satisfatórias”. Entre os parâmetros que influenciam na qualidade do concreto estão a mão-de-obra e o uso da água (BARBOZA *et al.*, 2022, p. 359).

Como pode ser notado nos dados apresentados, obras em que não existe controle tecnológico do concreto a resistência mínima de norma pode ser difícil de ser alcançada. Isso muitas vezes devido ao uso excessivo de água na mistura.

Dados iniciais para o estudo

Considerando que é muito comum o preparo do concreto sem seguir critérios técnicos, em obras de pequeno porte no Brasil, será feito um comparativo entre dois dimensionamentos. A resistência a ser adotada no primeiro dimensionamento é 30 MPa e no segundo será adotado os dados da obra 2 estudada por Beserra (2022). Para isso a resistência a ser considerada é de 14 MPa, próximo da média obtida nos seis corpos de prova, que foi 14,17 MPa.

De acordo com a tabela de preço dos insumos SINAPI (JUL/2023), o preço médio do concreto usinado bombeável classe C30 (30 MPa), com disponibilização de bomba, é de R\$ 459,25 por metro cúbico.

Para o concreto dosado empiricamente o custo de 1 m³ está na tabela 4. Duas informações são relevantes neste caso. Primeiro, a tabela SINAPI apresenta os valores da areia e da brita sem considerar o frete e, segundo, para o valor da

hora do servente, o índice é o considerando na TCPO (2015) para a produção de um concreto classe C15.

Tabela 4 – Custo de produção de 1 m³ de concreto de acordo com os dados da obra 2 levantados por Beserra (2022) e referência de insumos TCPO e SINAPI.

| Insumo | U.M. | Valor Unit. | Quantidade | Valor total (R\$) |
|--|----------------|-------------|------------|-------------------|
| Cimento Portland CP II-32 | kg | 0,60 | 285,37 | 171,22 |
| Pedra britada N. 1 ^a | m ³ | 220,00 | 0,285 | 62,70 |
| Areia grossa ^b | m ³ | 210,00 | 0,571 | 119,91 |
| Servente | h | 16,68 | 6,00 | 100,08 |
| Custo para produzir 1 m³ de concreto | | | | 453,91 |

Fonte: BESERRA (2023), TCPO (2015) e SINAPI (JUL/2023).

Notas a e b: preço cotado em lojas locais, devido a SINAPI não informar o frete para a entrega do materiais.

Softwares utilizados no estudo

Para o dimensionamento será considerado o momento fletor e força cortante obtidos de uma viga biapoiada modelada no software Ftool. Para o detalhamento foi utilizado o software AutoCAD 2023, versão de estudante disponibilizado pela Autodesk. E para os gráficos foi utilizado o software Excel do pacote da Microsoft 365.

Equações para as armaduras (As) e armadura de pele

O cálculo da armadura longitudinal tracionada (As) para resistir ao momento solicitante de cálculo (Md), se deu em duas etapas. Primeiro, foi calculado o parâmetro adimensional (K), que mede a intensidade do momento fletor externo solicitante de cálculo, conforme a equação 1 e em seguida foi calculada a armadura longitudinal tracionada, dada pela equação 2 (SILVA, 2018).

$$K = \frac{Md}{f_c \cdot b_w \cdot d^2} \quad (1)$$

Sendo, Md: momento solicitante de cálculo, resultante do momento solicitante característico multiplicado pelo coeficiente de majoração dos esforços, que é 1,4; f_c: resistência de cálculo do concreto (f_{ck}/1,4), considerando o diagrama parábola-retângulo que na tensão de pico deve ser afetado pelo coeficiente de Rüsç (0,85); b_w: largura da viga; d: altura útil da viga.

$$A_s = \frac{f_c \cdot b_w \cdot d}{f_{yd}} * (1 - \sqrt{1 - 2K}) \quad (2)$$

Sendo, f_{yd} : resistência de cálculo do aço, considerando o coeficiente de minoração de 1,15.

Neste estudo foi considerado também uma armadura de pele, pois nos dois dimensionamentos as vigas ficaram com altura final maior que 60 cm. A armadura de pele calculada foi 0,10% A_c (área da seção), em cada face da viga e dispostas abaixo da linha neutra, com espaçamento não superior a 20 cm (SILVA, 2018).

Equações para a verificação do Estado-Limite de abertura de fissuras

A viga foi dimensionada para atender aos requisitos de abertura de fissuras, conforme a tabela 13.4 da NBR 6118 (ABNT, 2023). Para a classe de agressividade ambiental (CAA) II e concreto armado, o máximo permitido é de 0,3 mm. O cálculo da abertura de fissuras se deu pelo método sistemático (W_{MS}), equação 3, e pelo método não sistemático (W_{MNS}), equação 11. O valor considerado foi o menor valor obtido pelos dois métodos (MORAIS NETO, 2023).

$$W_{MS} = \frac{\varnothing l}{12,5 * \eta_1} * \frac{\sigma_s}{E_s} * \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) \quad (3)$$

Sendo, $\varnothing l$: diâmetro da armadura longitudinal tracionada; η_1 : coeficiente de conformação superficial do aço CA-50 que é igual a 2,25, definido pela NBR 6118 (ABNT, 2023); σ_s : tensão na armadura calculada no estágio II pela equação 4; E_s : módulo de elasticidade do aço que é igual a 210000 MPa; ρ_r : taxa de armadura, calculada pela relação da área de aço (A_s) considerada e a área de concreto envolvente (A_{cr}). A área (A_{cr}) é calculada pelo retângulo formado a partir de uma distância $7,5\varnothing l$ do centro geométrico da armadura analisada.

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e * M_{Sd,ELS,F} * (d - x_{II})}{I_{II}} \quad (4)$$

Sendo, α_e : relação entre os módulos de elasticidade do aço (E_s) e módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}), calculado em duas etapas. Primeiro, pela equação 5, calcula-se o módulo de elasticidade tangente inicial e em seguida pela equação 6 o módulo de elasticidade secante; $M_{Sd,ELS,F}$: momento solicitante no estado limite de serviço; x_{II} : linha neutra no estágio II, calculada pela equação 7; I_{II} : momento de inércia da seção no estágio II, calculado pela equação 10.

$$E_{ci} = \alpha_E * 5600 * \sqrt{fck} \quad (5)$$

O termo α_E é uma constante que está relacionada com o tipo de agregado utilizado na produção do concreto. Neste estudo está sendo utilizado o valor de 1,0.

$$E_{cs} = \left(0,8 + 0,2 * \frac{fck}{80}\right) * E_{ci} \quad (6)$$

$$x_{II} = \frac{-(A + B) + \sqrt{(A + B)^2 - 2 * bw * (-d' * A - d * B)}}{bw} \quad (7)$$

Os termos “A” e “B” utilizados para calcular a posição da linha neutra e o momento de inércia no estágio II, são dados pelas equações 8 e 9, respectivamente. Quanto ao termo (d’), este vale 0 (zero), visto que não foi calculado para as vigas armadura de compressão (A’s), sendo este termo 0 (zero) também.

$$A = (\alpha_e - 1) * A'_s \quad (8)$$

$$B = \alpha_e * A_s \quad (9)$$

$$I_{II} = \frac{bw * x_{II}^3}{3} + B * (d - x_{II})^2 + A * (x_{II} - d')^2 \quad (10)$$

A abertura de fissura pelo método não sistemático foi calculada pela equação 11.

$$W_{MS} = \frac{\sigma_s}{12,5 * \eta_1} * \frac{\sigma_s}{E_s} * \frac{3 * \sigma_s}{fctm} \quad (11)$$

Sendo, $fctm$: resistência média à tração do concreto, dada pela equação 12.

$$f_{ctm} = 0,3 * fck^{2/3} \quad (12)$$

Verificação do Estado-Limite de deformação

Após as verificações de abertura de fissuras, foi verificado também a deformação na viga, considerando que a peça está trabalhando no estágio II. Para o cálculo da flecha imediata foi utilizada a equação 13 e para a flecha diferida a equação 16.

$$a_i = \frac{5 * F_{d,ELS,QP} * L^4}{384 * (EI)_{eq}} \quad (13)$$

Sendo, $F_{d,ELS,QP}$: ações atuantes na viga; L : vão da viga em cm; $(EI)_{eq}$: rigidez equivalente da seção, calculada conforme a equação 14.

$$(EI)_{EQ} = E_{CS} * [A^3 * I_c + (1 - A^3) * I_{II}] \quad (14)$$

Sendo, A : relação entre o momento de fissuração (M_r), dado na equação 15 e o momento solicitante de serviço, no ELS.

$$M_r = \frac{\alpha * f_{ctm} * I_c}{h/2} \quad (15)$$

Segundo Morais Neto (2023), o parâmetro α na equação 15 correlaciona as tensões de tração obtidas nos ensaios de tração direta e a tensão observada durante a flexão. Seu valor é de 1,5 para vigas de seção retangular.

$$\alpha_f = \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{1 + 50 * \rho'} \quad (16)$$

Sendo, $\varepsilon(t)$: vale 2 e representa a deformação da estrutural após 70 meses depois da retirada do escoramento; $\varepsilon(t_0)$: vale 0,677 e representa o tempo inicial, considerando a retirada do escoramento após um mês depois da concretagem; ρ' : taxa de armadura negativa . A flecha final é a soma da flecha imediata com a flecha diferida no tempo e é dada pela equação 17.

$$\alpha_{final} = \alpha_i * (1 + \alpha_f) \quad (17)$$

Armadura transversal

Para a armadura transversal, foi considerado a armadura mínima, visto que a resistência do concreto é maior que a solicitação do esforço cortante. A verificação da diagonal comprimida (VRd2) é dada pela equação 18.

$$VRd2,I = 0,27 * \alpha_{v2} * f_{cd} * b_w * d \quad (18)$$

Sendo, α_{v2} calculado pela equação 19.

$$\alpha_{v2} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (19)$$

A armadura transversal mínima foi calculada pela equação 20.

$$A_{sw} \geq A_{sw(min.)_{90^\circ}} = 0,2 * \frac{f_{ct,m}}{f_{yk}} * b_w * S * \text{sen}\beta \quad (20)$$

Dados para dimensionamento das vigas

No quadro 1 é apresentado os dados básicos para o dimensionamento das vigas, considerando as duas resistências de concreto. Os valores da altura útil (d) estão relacionados com o arranjo das barras de aço escolhidas para os modelos. Armaduras com outras bitolas e arranjos podem resultar em altura útil diferentes.

Quadro 1 – Dados básicos para dimensionamento das vigas.

| Concreto | h (cm) | b _w (cm) | d (cm) | q (kN/m) | M (kN.m) | V (kN) |
|----------|--------|---------------------|--------|----------|----------|--------|
| 30 MPa | 65 | 14 | 59,2 | 13,29 | 66,35 | 42,00 |
| 14 MPa | 90 | 14 | 84,5 | 14,16 | 70,70 | 44,75 |

Fonte: AUTOR.

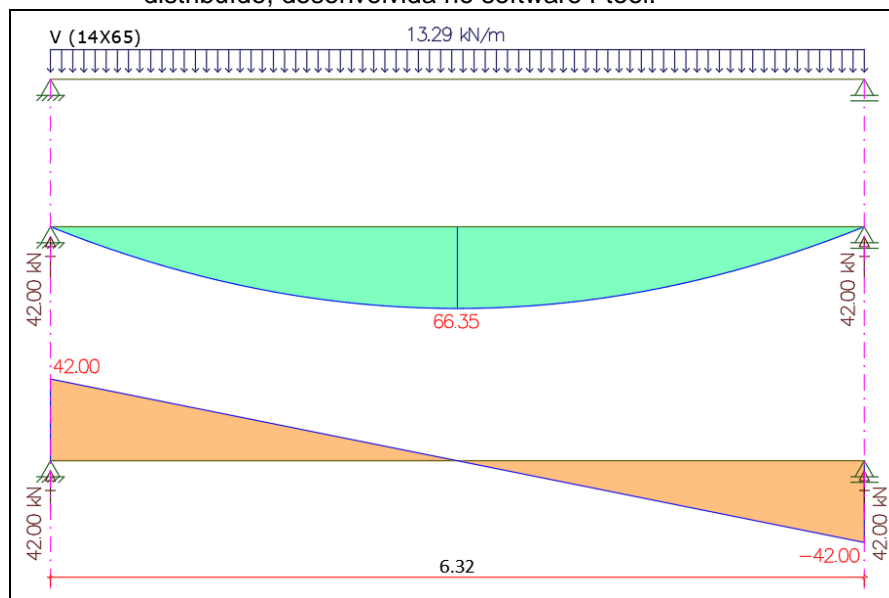
DETALHAMENTO DAS VIGAS

Viga com concreto de 30 MPa

Na figura 3 está ilustrado o esquema estrutural de uma viga biapoiada, com carregamento distribuído, com valor de carga distribuída de 13,29 kN/m, usualmente encontrado nas edificações residenciais de pequeno porte. Força cortante de 42,00 kN e vão de 6,32 m. A viga ficou com altura final de 65 cm e altura útil (d) de 59,2 cm e largura (b_w) de 14 cm.

Para o dimensionamento foi considerado um concreto classe C30 e para as verificações de serviço foi considerado um carregamento permanente.

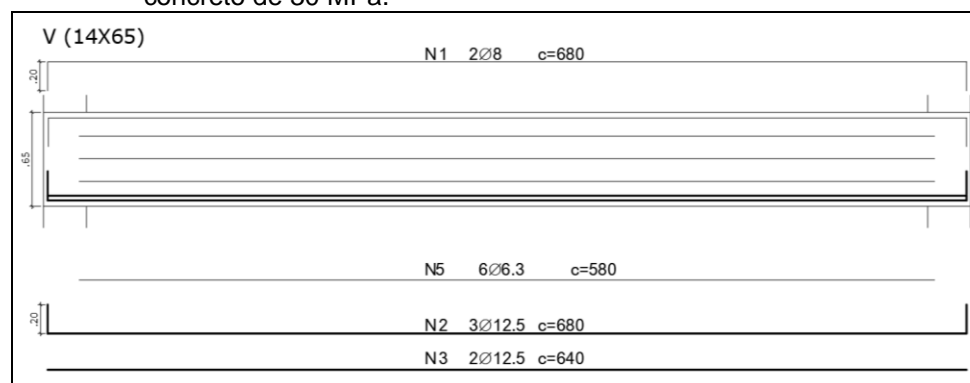
Figura 1 – Esquema estrutural de uma viga biapoiada com carregamento distribuído, desenvolvida no software Ftool.



Fonte: AUTOR.

A figura 2 mostra o detalhamento final da viga.

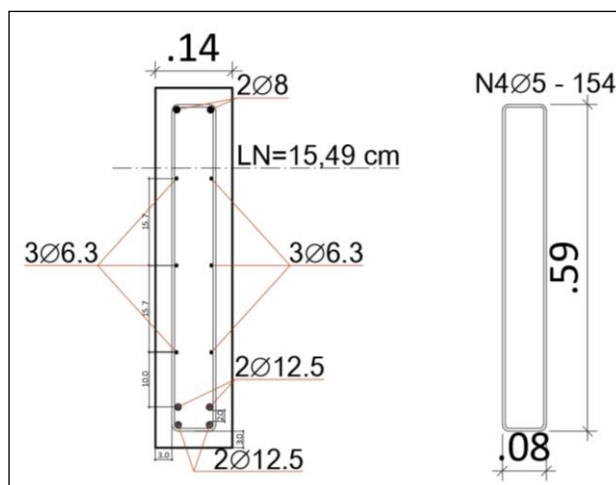
Figura 2 – Detalhamento da viga com dimensão 14x65 cm, dimensionada para concreto de 30 MPa.



Fonte: AUTOR

Conforme a figura 3, para resistir ao momento solicitante no estado-limite último e atender aos estados-limite de serviço, são necessárias 4 barras de 12,5 mm disposta em duas camadas, além das barras laterais de 6,3 mm para o controle da fissuração e porta estribo de 8 mm. A linha neutra para a seção está localizada a 15,49 cm das fibras mais comprimidas. Considerando uma altura útil de 59,2 cm, a viga está trabalhando no domínio 3, sendo a relação x/d igual a 0,262.

Figura 3 – Detalhe da seção transversal da viga com dimensão 14x65 cm.



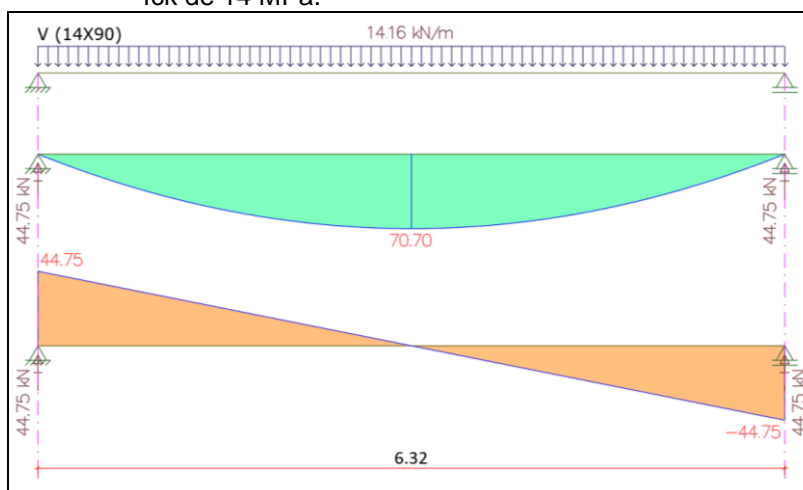
Fonte: AUTOR

Viga com concreto de 14 MPa

Na figura 4 está ilustrado o esquema estrutural utilizado para o dimensionamento da viga com concreto de 14 MPa. Conforme quadro 1, a viga ficou com altura final de 90 cm, necessário para resistir um carregamento distribuído de 14,16 kN/m, num vão de 6,32 m.

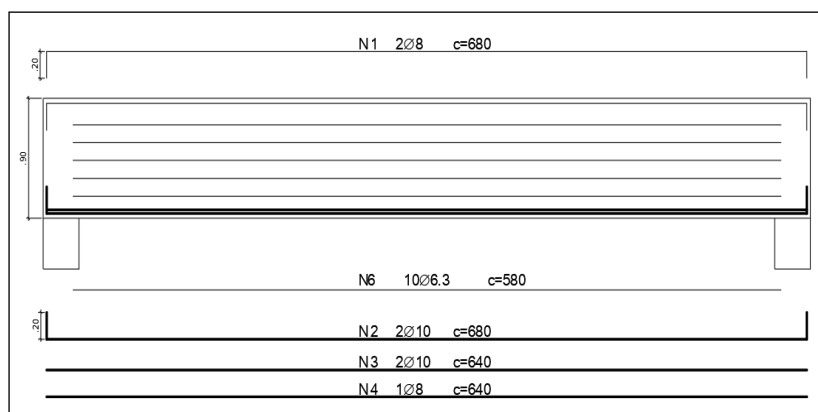
As figuras 7 e 8, traz respectivamente, o detalhamento do dimensionamento hipotético.

Figura 4 – Esquema estrutural da viga para ser dimensionada com f_{ck} de 14 MPa.



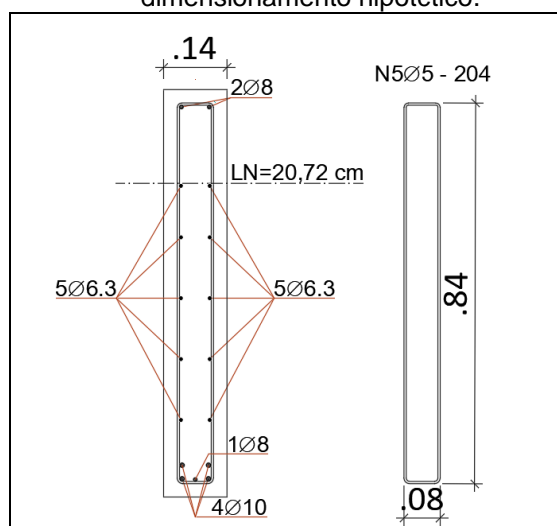
Fonte: AUTOR

Figura 5 – Detalhamento da viga com dimensionamento hipotético.



Fonte: AUTOR

Figura 6 – Seção transversal da viga com dimensionamento hipotético.



Fonte: AUTOR

No quadro 2 é demonstrado o resultado de algumas verificações feitas a fim de garantir o bom dimensionamento das vigas. Verificações como abertura de fissuras e flechas são estimativas próximas, visto que, tais valores reais dependem de vários fatores.

Quadro 2 – Resultados das verificações

| Viga (cm) | A_{cr} (cm ²) | W_{Ms} (mm) | W_{MNS} (mm) | Fecha (cm) | X_{II} (cm) | x/d | Domínio |
|-----------|-----------------------------|---------------|----------------|------------|---------------|-------|---------|
| 14x65 | 208 | 0,16 | 0,27 | 1,57 | 15,49 | 0,262 | 3 |
| 14x90 | 203 | 0,14 | 0,31 | 0,88 | 20,72 | 0,245 | 2 |

Fonte: AUTOR

RESULTADOS

Custo de produção da viga 14x65

Nas tabelas 5, 6, 7 e 8, é detalhado o custo final de produção da viga de concreto armado para o concreto de resistência de 30 MPa.

Tabela 5 – Consumo e custo de aço para a viga modelo, considerando um concreto com resistência de 30 MPa.

| Consumo de aço – Concreto de 30 MPa | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------|--------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|
| Posição | Bitola (mm) | Qdade. | Comprimento (m) | Peso (kg/m) | Peso total (kg) | Unit. (R\$) | Total (R\$) |
| N1 | 8 | 2 | 6,80 | 0,395 | 5,372 | 8,57 | 46,04 |
| N2 | 12.5 | 2 | 6,80 | 0,963 | 13,097 | 8,04 | 105,30 |
| N3 | 12.5 | 2 | 6,40 | 0,963 | 12,326 | 8,04 | 99,10 |
| N4 | 5 | 30 | 1,54 | 0,154 | 7,115 | 8,52 | 60,67 |
| N5 | 6.3 | 6 | 5,80 | 0,245 | 8,526 | 8,52 | 72,64 |
| Peso do total de aço | | | | | 46,436 | | 383,75 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

Tabela 6 – Custo da fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga com concreto de 30 MPa.

| Fôrma para viga de concreto armado com 30 MPa | | | | | | |
|---|----------------|------------|----------|-------------|------------|-----------------|
| Descrição | U.M. | Fabricação | Montagem | Desmontagem | Unit (R\$) | Custo (R\$) |
| Aj. Carp. | h | 0,30 | 0,14 | 0,059 | 16,68 | 79,15 |
| Carpinteiro | h | 1,2 | 0,55 | 0,238 | 20,28 | 383,41 |
| Chapa madeira | m ² | 1,2 | | | 52,03 | 593,77 |
| Pontaletes 7,5x7,5 cm | m | 3,2 | | | 7,43 | 226,11 |
| Sarrafo 1"x3" | m | 4,0 | | | 2,60 | 98,90 |
| Prego 17x21 | kg | 0,2 | | | 13,74 | 26,13 |
| Desmoldante | l | | 0,020 | | 6,86 | 1,30 |
| Prego 17x27 | kg | | 0,100 | | 14,01 | 13,32 |
| Custo de fabricação, montagem e desmontagem para 9,51 m² de fôrma | | | | | | 1.422,11 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

Tabela 7 – Aplicação do concreto nas fôrmas

| Aplicação do concreto nas fôrmas – m ³ | | | | | |
|---|------|--------|-------------|----------------------------|--------------|
| Descrição | U.M. | Índice | Custo Unit. | Concreto (m ³) | Custo (R\$) |
| Pedreiro | h | 1,65 | 20,28 | 0,588 | 19,68 |
| Servente | h | 4,50 | 16,66 | 0,588 | 44,08 |
| Custo total do serviço | | | | | 63,73 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

Tabela 8 – Custo total de produção da viga de concreto armado com 6,46 m e seção 14x65 cm, considerando um concreto com 30 MPa de resistência.

| Insumos e Composição | | | |
|--|------------|-------------------------|------------------------------|
| Concreto | Aço | Fôrma de madeira | Aplicação do Concreto |
| 0,588 m ³ | 46,436 kg | 9,51 m ² | 0,588 m ³ |
| R\$ 269,97 | R\$ 383,75 | 1.422,11 | 63,73 |
| Custo total para produção da viga | | | R\$ 2.139,56 |

Fonte: AUTOR.

Custo de produção da viga 14x90

A seguir está sendo demonstrado por meio das tabelas 9, 10, 11 e 12 o custo de produção da viga dimensionada considerando uma resistência de 14 MPa do concreto na compressão de MPa (dimensionamento hipotético).

Tabela 9 – Consumo e custo de aço para a viga modelo, considerando um concreto com resistência de 14 MPa.

| Consumo de aço – Concreto de 14 MPa | | | | | | | |
|--|--------------------|---------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Posição | Bitola (mm) | Qdade. | Comprimento (m) | Peso (kg/m) | Peso total (kg) | Unit. (R\$) | Total (R\$) |
| N1 | 8 | 2 | 6,80 | 0,395 | 5,372 | 8,57 | 46,04 |
| N2 | 10 | 2 | 6,80 | 0,617 | 8,391 | 8,04 | 67,46 |
| N3 | 10 | 2 | 6,40 | 0,617 | 7,898 | 8,04 | 63,50 |
| N4 | 5 | 30 | 2,04 | 0,154 | 9,425 | 8,52 | 80,30 |
| N5 | 6.3 | 10 | 5,80 | 0,245 | 14,210 | 8,52 | 121,07 |
| Peso do total de aço | | | | | 45,296 | | 378,37 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

Tabela 10 – Custo da fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para viga com concreto de 14 MPa.

| Fôrma para viga de concreto armado com 14 MPa | | | | | | |
|--|----------------|-------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Descrição | U.M. | Fabricação | Montagem | Desmontagem | Unit (R\$) | Custo (R\$) |
| Aj. Carp. | h | 0,30 | 0,14 | 0,059 | 16,68 | 106,04 |
| Carpinteiro | h | 1,2 | 0,55 | 0,238 | 20,28 | 513,63 |
| Chapa madeira | m ² | 1,2 | | | 52,03 | 795,43 |
| Pontaletes 7,5x7,5 cm | m | 3,2 | | | 7,43 | 302,91 |
| Sarrafo 1"x3" | m | 4,0 | | | 2,60 | 132,50 |
| Prego 17x21 | kg | 0,2 | | | 13,74 | 35,01 |
| Desmoldante | l | | 0,020 | | 6,86 | 1,75 |
| Prego 17x27 | kg | | 0,100 | | 14,01 | 17,85 |
| Custo de fabricação, montagem e desmontagem para 12,74 m² de fôrma | | | | | | 1.905,12 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

Tabela 11 – Aplicação do concreto nas fôrmas

| Aplicação do concreto nas fôrmas – m³ | | | | | |
|---|-------------|---------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| Descrição | U.M. | Índice | Custo Unit. | Concreto (m³) | Custo (R\$) |
| Pedreiro | h | 1,65 | 20,28 | 0,814 | 27,24 |
| Servente | h | 4,50 | 16,66 | 0,814 | 61,03 |
| Custo total do serviço | | | | | 88,27 |

Fonte: TCPO (2015); SINAPI (JUL/2023)

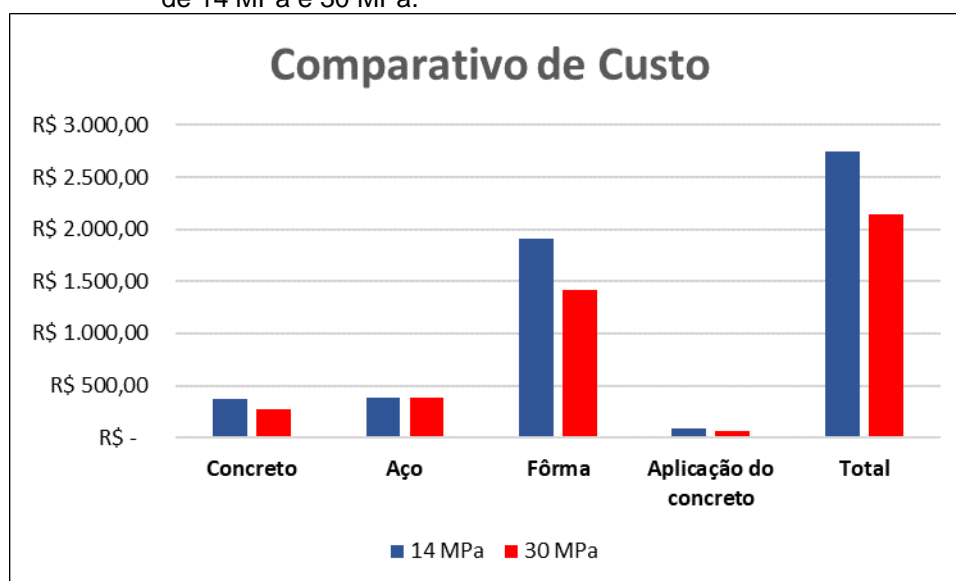
Tabela 12 – Custo total de produção da viga de concreto armado com 6,46 m e seção 14x90 cm, considerando um concreto com 14 MPa de resistência.

| Insumos e Composição | | | |
|--|------------|-------------------------|------------------------------|
| Concreto | Aço | Fôrma de madeira | Aplicação do Concreto |
| 0,814 m ³ | 45,296 kg | 12,74 m ² | 0,814 m ³ |
| R\$ 369,48 | R\$ 378,37 | 1.905,12 | 88,27 |
| Custo total para produção da viga | | | R\$ 2.741,24 |

Fonte: AUTOR.

Comparativo de custos

O gráfico 2 traz o resultado do estudo, que teve como objetivo comparar o custo de produção de duas vigas. Conforme o gráfico, o dimensionamento considerando a média de resistência do concreto obtida na obra 2 por Beserra (2022), e, levando em consideração o traço informado, a diferença para um concreto usinado de 30 MPa foi de 28,12%. O aço foi o único insumo que teve custo menor na viga com concreto de 14 MPa em relação ao de 30 MPa.

Gráfico 2 – Comparativo de custos de produção das vigas com concreto de 14 MPa e 30 MPa.

Fonte: AUTOR

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou, por meio do dimensionamento de uma viga biapoiada, que o uso de concreto com resistência inferior ao permitido por norma, resulta em um custo maior.

Pelo preço dos insumos praticados pelo mercado, o gasto para se preparar um concreto em obra é praticamente o mesmo que se paga num concreto usinado, que deve atender a resistência de norma.

Conforme se verificou, a viga dimensionada com concreto empírico custa 28,12% a mais em comparação ao concreto usinado de 30 MPa. Isso pode ter um grande impacto numa obra, pois de cada R\$ 100.000,00 que se gastaria para produzir as vigas de uma estrutura com concreto de 30 MPa, comprado em concreteira, se gastaria R\$ 28.120,00 a mais para se produzir na obra.

Outro dado a ser analisado é o peso próprio da estrutura. A viga dimensionada para o concreto empírico tem um peso próprio de 2.034,90 kg e a viga comparada tem 1.469,65 kg. Houve um aumento de 38,46% no peso próprio da estrutura. Isso implica em maiores cargas nos pilares e conseqüentemente nos elementos estruturais de fundação.

Por meio deste estudo constatou-se também a importância de ter um profissional habilitado em todas as fases de uma construção, desde a fase de projetos até o término da obra.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

BARBOZA, A. S. R. *et al*, **Estruturas de concreto armado**, volume 1. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2022. 665 p.

BESERRA, Y. I. A. **Avaliação de concretos dosados empiricamente utilizados para moldar elementos estruturais: um estudo em obras de edificação de Crateús-Ce**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL, Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil **SINAPI**. Julho de 2023.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MORAIS NETO, J. A. C. de, **Guia do calculista iniciante**. 2 ed. Natal/RN: Ed. do Autor, 2023. 181 p.

ROSA, F. A. **Análise de resistência à compressão e características do concreto produzido em obras de pequeno porte na região norte da cidade de Maringá-PR**. 2016. 5 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – UNINGÁ, Centro Universitário Ingá, Maringá, 2016.

SILVA, Ney Amorim. **Apostila de concreto I – Notas de aula**. Departamento de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/42286480/APOSTILA_DE_CONCRETO_ARMADO_UNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_MINAS_GERAIS_2018. Acessado em: 13/09/2023.

TCPO: **Tabela de composições de preços para orçamentos**. 15 ed. São Paulo. Editora Pini, 2017.