

ESTUDO DE DIFERENTES MÉTODOS EXPERIMENTAIS PARA A OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

Mayara Delonzek ¹

Mayara Delonzek Toledo da Silva ²

Guilherme Durigon Cocco ³

Gabriel de Campos Freitas ⁴

Andressa Paz Kerch ⁵

Luis Eduardo Kostascki ⁶

Ederli Marangon ⁷

Resumo:

Este trabalho é um estudo experimental da propriedade mecânica de resistência à tração direta e indireta de um concreto simples da classe C50. Os ensaios realizados foram de tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão. Além disso, também realizou-se o ensaio de compressão axial para identificação da resistência à compressão característica do concreto (f_{ck}). Os ensaios de tração direta foram feitos com corpos de prova prismáticos de seção transversal 25 x 100 mm e comprimento de 400 mm. Placas metálicas foram coladas nas extremidades das amostras de concreto com adesivo epóxi para acoplá-las na prensa a fim de se obter as forças de tração. Os ensaios de tração por compressão diametral e tração na flexão foram realizados seguindo as normas brasileiras. Devido o ensaio de tração direta não ser normalizado e ter os resultados facilmente influenciados por fatores externos, quando se necessita obter os valores de tração do concreto os ensaios indiretos são bastante comuns. Segundo a norma brasileira de estruturas de concreto esse resultado pode até ser obtido através do ensaio de compressão axial, com a aplicação de equações que variam de acordo com o f_{ck} do material. Diante disso, buscou-se avaliar se as recomendações das normativas brasileiras retornam resultados condizentes com o obtido no ensaio direto. Foi verificado que a resistência à tração axial foi a menor encontrada e varia em torno de 20% em relação aos ensaios de tração por compressão diametral e tração na flexão, sendo que entre esses experimentos indiretos não foram encontradas diferenças significativas. Quando os resultados experimentais foram comparados com os relativos às equações da normativa de concreto, constatou-se que o limite normativo é 26% inferior, indicando que a norma é bastante conservadora.

Palavras-chave: resistência mecânica do concreto, tração direta, tração por compressão diametral, tração na flexão

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

ESTUDO DE DIFERENTES MÉTODOS EXPERIMENTAIS PARA A OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

¹ Aluno de graduação. mayaradelonzek2@gmail.com. Autor principal

² Aluno de graduação. mayaradelonzek2@gmail.com. Apresentador

³ Aluno de graduação. guidcocco@gmail.com. Co-autor

⁴ Aluno de ensino médio. gabrielcamposfreitas12@gmail.com. Co-autor

⁵ Aluno de ensino médio. elisangela_kerch@gmail.com. Co-autor

⁶ Docente. luiskostascki@unipampa.edu.br. Orientador

⁷ Docente. ederlimarangon@unipampa.edu.br. Co-orientador

ESTUDO DE DIFERENTES MÉTODOS EXPERIMENTAIS PARA A OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

1 INTRODUÇÃO

O concreto apresenta diferenças consideráveis entre a sua resistência à tração e compressão, sendo que a primeira é muito inferior que a segunda. De acordo com MEHTA e MONTEIRO [2] a razão entre as resistências à tração axial e compressão variam de 0,07 a 0,11. Desse modo, em relação às propriedades mecânicas, a resistência à compressão desse material é tida como mais importante. Porém, quando se deseja obter um controle de fissuração da matriz cimentícia, por exemplo, se faz necessário a obtenção dos valores referentes à tração. Segundo OLUOKUN [10] problemas de fissuração e falhas nas estruturas de concreto poderiam ser minimizados através do estudo da resistência à tração desse material.

Existem diferentes ensaios para a obtenção dessa propriedade: tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão. Entretanto, esses experimentos retornam diferentes valores para o mesmo material. De acordo com MIER e VLIET [3] o ensaio de tração direta seria o mais adequado por retornar valores mais próximos aos da resistência à tração real do concreto.

Porém, esse tipo de ensaio é de difícil execução devido a influência de fatores externos. MEHTA e MONTEIRO [2] afirmam que os dispositivos de fixação dos corpos de prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas, por isso a resistência à tração do concreto é comumente obtida pelos métodos indiretos como os prescritos pelas normas brasileiras NBR 7222 [7] e NBR 12142 [9] - tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) e tração na flexão ($f_{ct,f}$), respectivamente.

Para corrigir os diferentes resultados obtidos através dos ensaios indiretos, a NBR 6118 [6] recomenda a aplicação de fatores de correção de $0,9*f_{ct,sp}$ e $0,7*f_{ct,f}$ para se chegar nos valores de tração direta. Além disso, essa mesma normativa sugere que na falta desses ensaios pode-se aplicar as equações 1, 2 e 3, (válidas apenas para concretos com resistência característica (f_{ck}) igual ou inferior a 50 MPa) para se obter a resistência à tração direta através da resistência à compressão axial do material. Vale ressaltar que neste estudo as amostras utilizadas pertenciam à classe C50. A seguir, o índice $f_{ct,m}$ corresponde a resistência média à tração, $f_{ctk,inf}$ e $f_{ctk,sup}$ correspondem, respectivamente, a resistência à tração inferior e superior do concreto.

$$f_{ct,m} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 * f_{ct,m} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 * f_{ct,m} \quad \text{Eq. (3)}$$

Buscando verificar se as recomendações normativas atendem ao esperado, o presente estudo busca avaliar o comportamento mecânico de amostras de concreto simples quanto à resistência à tração obtida através de três métodos de ensaio: tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão.

2 METODOLOGIA

Para a confecção dos corpos-de-prova foi utilizado um traço contendo 43% de brita, 14% de areia tipo 1, 17% de areia tipo 2, 18% de Cimento Portland Brasileiro CPV-ARI, 0,24% de superplastificante e 8% de água (relação água/cimento de 0,44). O diâmetro máximo do agregado graúdo é 12,7 mm e módulo de finura de 6,77. As areias utilizadas são de origem natural (areia 1 e areia 2), quanto a sua granulometria foram classificadas como médias, as quais

apresentaram diâmetros característicos e módulo de finura respectivamente de 0,43 mm e 1,16 mm para a areia 1 e de 0,6 mm e 1,38 mm para a areia 2. Foi adicionado também um aditivo superplastificante (MC-PowerFlow, empresa MC-Bauchemie) com densidade de 1,05 g/cm.

Seguindo a normativa NBR 5738 [4] foi feita a moldagem e cura das amostras. Utilizou-se corpos de prova em formato cilíndrico com diâmetro de 100mm e altura de 200mm para os ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, e prismáticos com duas seções transversais de 25x100mm para tração direta e 100x100mm para tração na flexão, ambos com comprimento de 400mm. Nas primeiras 24 horas após a moldagem as amostras ficaram em temperatura ambiente até o endurecimento e possível desforma, após, foram transferidas para a câmara úmida até a cura de 28 dias.

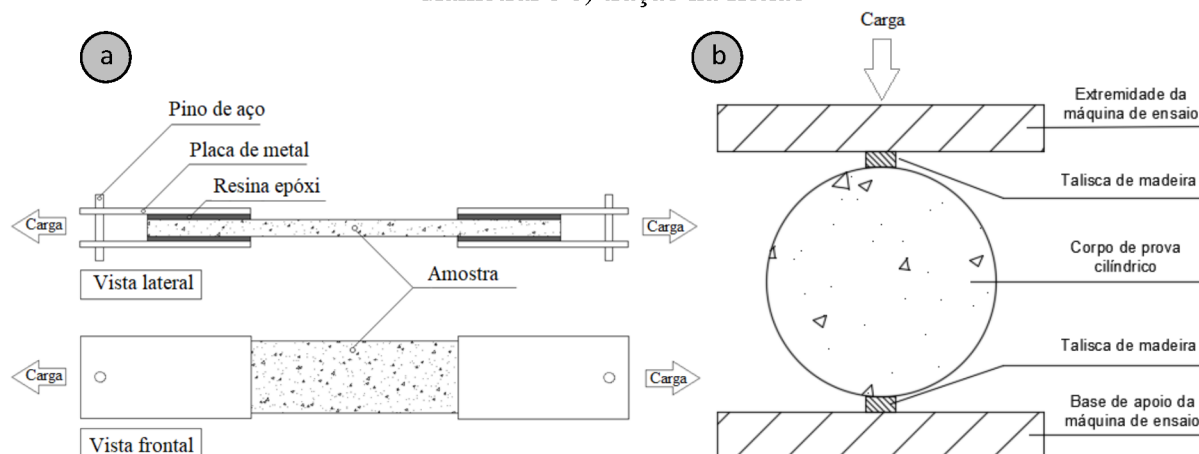
Os ensaios para caracterização da resistência à compressão axial foram executados seguindo os procedimentos descritos na NBR 5739 [5] com a média dos resultados de três corpos de prova. Foi adotada uma velocidade de ensaio de 0,08mm/min. A deformação do corpo de prova foi medida através de extensômetros fixados na superfície da amostra.

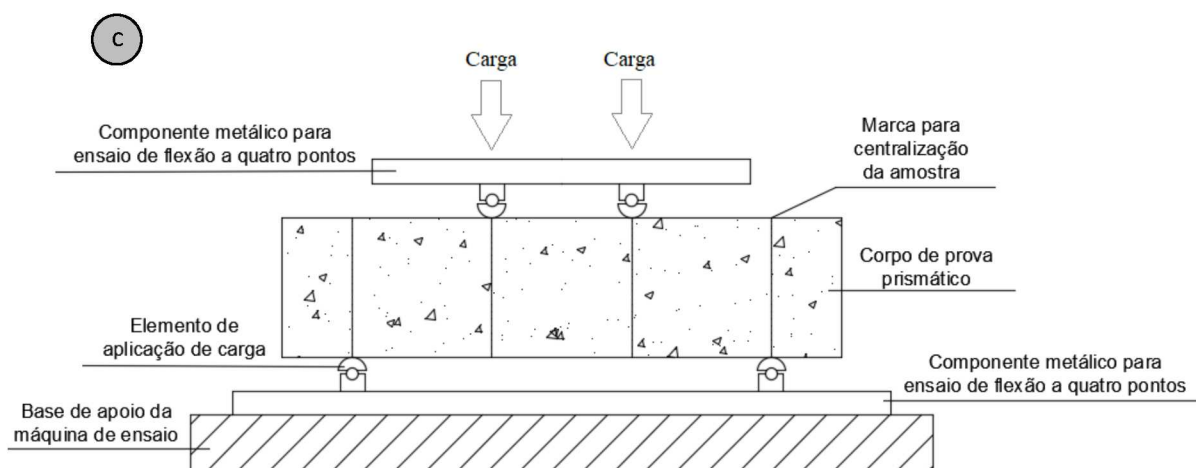
Para os ensaios de tração direta foi necessário o uso de adesivo epóxi para unir placas metálicas nas extremidades da amostra de concreto. Essas placas são utilizadas para a transferência de carga aos corpos de prova através de um sistema rígido composto pela ligação rotulada entre as placas de aço e a máquina através de um pino de ligação. Durante o processo de fixação das placas nos prismas foi necessário assegurar-se o alinhamento, não somente entre a placa e o prisma, mas também entre os orifícios centrais das placas, que servem de ligação entre o sistema e a máquina. Este processo é tomado visando eliminar ou minimizar ao máximo excentricidades na realização do experimento. A velocidade dos ensaios foi de 0,5 mm/min do deslocamento do travessão da máquina. Foram ensaiadas quatro amostras de concreto.

Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados segundo a NBR 7222 [7]. Foram utilizadas taliscas de madeira da espécie “Cumaru” (*Dipteryx Odorata*) para o contato entre a prensa e o corpo de prova. Segundo o catálogo de madeiras do IPT [1] esse material apresenta densidade aparente de 1090Kg/m³ e resistência à compressão paralela às suas fibras de 94,2 MPa. As taliscas foram confeccionadas conforme especificações da NBR 10024 [8] e os ensaios realizados com uma velocidade de deslocamento do travessão de 1,1mm/min. Três corpos de prova foram avaliados.

Os ensaios de tração na flexão foram realizados segundo a NBR 12142 [9], onde duas cargas concentradas foram impostas sobre a amostra, localizadas a uma distância de L/3 até o apoio mais próximo. O ensaio foi realizado a uma velocidade de 0,5mm/min do deslocamento do travessão da máquina. Testou-se quatro amostras neste tipo de ensaio. Na Figura 1 estão ilustrados os conjuntos de testes para cada tipo de ensaio realizado.

Figura 1 – Detalhe do conjunto para ensaio: a) tração direta, b) tração por compressão diametral e c) tração na flexão





Fonte: Autoria própria

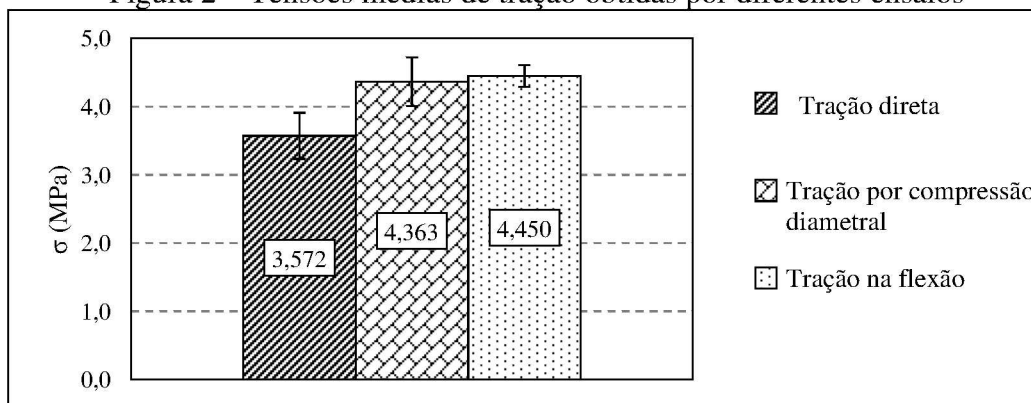
3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

A resistência à compressão média (f_{cj28}), determinada através do ensaio de compressão axial com três corpos de prova foi de 49,3MPa (CV=3,2%). Com isso foi possível encontrar um módulo de elasticidade de 33Gpa.

Realizando uma análise de variância (ANOVA) dos resultados verificou-se que a interação entre os métodos de ensaio não é um fator estatisticamente significativo. Porém, o método de ensaio realizado modifica os resultados. Através da comparação de médias pelo método de Fisher, explicado em WILLIAN [11], notou-se que entre os ensaios de tração por compressão diametral e tração na flexão não há variação estatisticamente significativa. Estes resultados são apresentados na Figura 2. Assim, segundo os ensaios experimentais realizados neste trabalho, pode-se inferir que a utilização de métodos indiretos para a determinação da resistência à tração do concreto possuem uma equivalência.

Esta última observação vai de encontro com a NBR 6118 [6] que cita que a resistência à tração direta (f_{ct}) pode ser calculada a partir das resistências à tração indiretas ($f_{ct,sp}$) e ($f_{ct,f}$) obtidas nos ensaios de tração por compressão diametral e tração na flexão, respectivamente. Para isso, deve-se multiplicar o fator de 0,9 ao valor obtido pelo primeiro ensaio e 0,7 para o valor do segundo. Esses resultados se encontram na Tabela 1. A média dos resultados referente aos três ensaios é apresentada na Figura 2. Em posse desses dados médios, fez-se a verificação dos fatores corretivos dividindo-se o resultado da resistência à tração do método direto pelos métodos indiretos. Contrariando a norma os dois ensaios indiretos retornaram um fator de correção semelhante, na ordem de 0,8.

Figura 2 – Tensões médias de tração obtidas por diferentes ensaios



Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que a quantidade de ensaios realizados não foram suficientes para encontrar diferença estatisticamente significativa entre os ensaios de tração por compressão diametral e tração na flexão, mas uma diferença nas médias foi observada. Desta forma, a realização de mais ensaios se faz necessária para garantir a confiabilidade destes resultados. Os valores para a resistência à tração do concreto obtidos pelos ensaios discutidos neste trabalho estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de resistência à tração direta obtidos por meio de diferentes ensaios

Corpo de prova	Tração Direta [MPa]	Compressão Diametral [MPa]	Tração na flexão [MPa]
I	3,24	4,01	4,44
II	3,66	3,96	4,42
III	4,09	4,89	4,00
IV	3,30	4,59	4,24
Média	3,57	4,36	4,45
CV [%]	9,45	9,00	3,65

Fonte: Autoria própria

A análise das relações empíricas para a tração direta a partir da resistência característica de compressão fornecida pela NBR 6118 [6] (equações 1, 2 e 3) encontram-se a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados submetidos aos critérios de relação de tensões segundo NBR 6118 [6]

fck (MPa)	fctm (MPa)			
	fct,m	ftk,inf	fctk,sup	fcj médio experimental
49,3	4,03	2,82	5,24	3,57

Fonte: Autoria própria.

Uma resistência à compressão de 49,3MPa resulta em uma resistência média à tração de 4,03MPa. Este valor é 13% maior que a média encontrada experimentalmente (3,57MPa). Porém, considerando os intervalos de variação inferior e superior de 2,82MPa e 5,24MPa, respectivamente, todos os resultados encontrados nos ensaios diretos e indiretos estariam dentro dos limites de variação impostos como referência pela norma. Ainda, segundo a NBR 6118 [6], o valor a ser usado para os cálculos que dependem do valor de tração é o fct,inf, ou seja, perante os valores encontrados a norma é bem conservadora, pois a diferença entre o menor resultado das quatro amostras (3,57 MPa) e a fctk,inf (2,82MPa) é de 26%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é apresentado um estudo experimental sobre os diferentes métodos de ensaio para a obtenção da resistência à tração do concreto. Foi verificado, também, se as recomendações das normas brasileiras para a manipulação dos resultados destes ensaios retorna resultados aceitáveis. A resistência à tração direta do concreto é 20% inferior do que as resistências encontradas nos ensaios indiretos.

Além disso, foi possível notar que os dois tipos de ensaios indiretos realizados retornam valores sem variações significativas. Por fim, quando comparado os valores de resistência à

tração determinados pela NBR 6118 [6], constata-se que o valor determinado é cerca de 26% menor, indicando que a norma é bastante conservadora.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da UNIPAMPA, da FAPERGS e do CNPq que fizeram e fazem possível a realização de nossas pesquisas. Especialmente agradecem o apoio da empresa Pilecco Nobre, parceira constante do grupo de pesquisa MAEC.

REFERÊNCIAS

- [1] IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil**, São Paulo, 2013.
- [2] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto - microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo, 2008. p. 71-72.
- [3] MIER, J.G.M and VLIET, M. R. A. **Uniaxial tension test for the determination of fracture parameters of concrete**: state of the art. Engineering Fracture Mechanics 69, p.235-247, 2002.
- [4] NBR 5738, **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. ABNT, 2003.
- [5] NBR 5739, **Concreto - Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos**. ABNT, 1994.
- [6] NBR 6118, **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. ABNT, 2014.
- [7] NBR 7222, **Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. ABNT, 2011.
- [8] NBR 10024, **Chapa dura de fibra de madeira - Requisitos e métodos de ensaio**. ABNT, 2012.
- [9] NBR 12142, **Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. ABNT, 2010.
- [10] OLUOKUN, F.A., BURDETTE, E.G., DEATHEARAGE, J.H., **Splitting tensile strength and compressive strength relationship at early ages**. ACI Materials Journal, Vol.88, No.2, March-April 1991. p. 115-121.
- [11] WILLIAM W.H., et al., **Probabilidade e Estatística na Engenharia**, 4. ed. Rio de Janeiro, 2012.