

## **RELATÓRIO TÉCNICO DO ENSAIO LABORATORIAL: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA VIGA**

Bruno Augusto Gurjao de Gois, Caroline Araújo Fontes, Isabella Rose Dantas da Silva,  
Kaio de Carvalho Dias<sup>1</sup>  
Tomás Barros Vasconcelos<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho acadêmico expõe a descrição do ensaio técnico laboratorial desenvolvido, de acordo com as explicações obtidas nas aulas teóricas e práticas da disciplina de Resistência dos Materiais II, ministrada no curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte – UNI/RN. Buscou-se, desse modo, a avaliação prática dos esforços máximos e mínimos, e tipo de fratura quando solicitadas ao ensaio de tração na flexão. Utilizou-se no procedimento laboratorial uma viga de Concreto, com o intuito de aferir o comportamento perante os esforços aplicados de acordo com a necessidade de avaliar a resistência a tração na flexão, respaldada pela norma específica regulamentadora do experimento. Diante disso, ao longo do desenvolvimento deste estudo será relatada a experiência desenvolvida ao ensaio realizado, que verifica as propriedades mecânicas da viga de concreto. Portanto, objetivou-se registrar a experiência e relacioná-las aos conhecimentos técnicos e práticos fornecidos nas aulas, com o intuito de realizar o julgamento do material, sobretudo, quanto a sua Resistência a tração na flexão quando submetidos a esforços axiais.

**Palavras-chave:** Resistência. Tração. Flexão. Concreto. Viga.

### **TECHNICAL REPORT ON THE LABORATORY TEST: EVALUATION OF TENSION PERFORMANCE IN BEAM BENDING**

---

<sup>1</sup> Discentes do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Univcersitário do Rio Grande do Norte

## ABSTRACT

This work teaches the description of the technical laboratory test elaborated, with the explanations of the theoretical theory according to the theoretical and practical classes of Resistance of Materials II, taught in the Civil Engineering course of Rio Grande do Norte – UNI/RN. In this way, the practice of strength and evaluation exercises, and the type of fracture requested in the flexion test, was sought. A Concrete Beam was used in the laboratory procedure, with the intention of evaluating the behavior to be applied according to the need to attract the flexural strength, experienced by the specific standard. In view of this, the long development of this study related to an experience developed to the one carried out, which verifies the mechanical properties of concrete life will be. The intention, that is, the experience and the task of recognizing the technicians and development practices in the classes, with the intention, the task of registering the material, mainly, regarding its resistance intention, when the task is designed for traction in traction.

## 1 INTRODUÇÃO

Ampla parcela dos elementos feitos de concreto é projetada com a premissa de que o concreto resistirá às tensões de compressão, mas não às tensões de tração (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Normalmente, é adotado que o comportamento do concreto seja governado somente pela capacidade compressiva, porém isto não significa que este parâmetro seja o único importante. Inúmeros benefícios podem ser adquiridos com um melhor conhecimento da resistência à tração do concreto. De acordo com NEVILLE (1997), a correlação amplamente utilizada de que a resistência à tração do concreto corresponde a 10% da sua resistência à compressão não pode ser feita livremente. Não há uma proporcionalidade direta entre esses dois tipos de resistência, sendo ambos dependentes do nível de resistência do concreto.

Sob essa ótica, se a resistência à compressão aumenta é esperado que a resistência à tração também aumente, mas dentro de uma relação decrescente. Em determinadas estruturas, as solicitações predominantes são de tração na flexão (pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas) ou tração pura (tirantes). Em

geral, fissuras só podem ocorrer depois que a capacidade de tração do concreto tiver sido esgotada, o que faz dessa uma importante propriedade no que diz respeito à durabilidade de membros estruturais (OLUOKUN, 1991).

Nessa perspectiva, torna-se perceptível a importância da tração direta do concreto, e o quanto estudar as propriedades mecânicas, sobretudo a resistência deste material é de suma relevância. A resistência à tração de um concreto pode ser obtida através de três tipos de ensaio: tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão. No entanto, esses diferentes métodos de ensaios fornecem diferentes valores de resistência à tração para um mesmo material, entretanto, neste relatório, o enfoque diz respeito apenas ao ensaio de tração na flexão, mediante procedimento técnico realizado em uma viga de concreto no “Laboratório de Resistência dos Materiais”, do campus UNI/RN, para estabelecimento da resistência a tração na flexão.

Dessa forma, essa propriedade é fundamental na aparência e na durabilidade das estruturas, logo um bom conhecimento da resistência à tração certamente ajudaria a minimizar os problemas de fissuração e de falhas nas estruturas de concreto, aspectos desejáveis pela Engenharia e âmbito da Construção Civil (OLUOKUN, 1991).

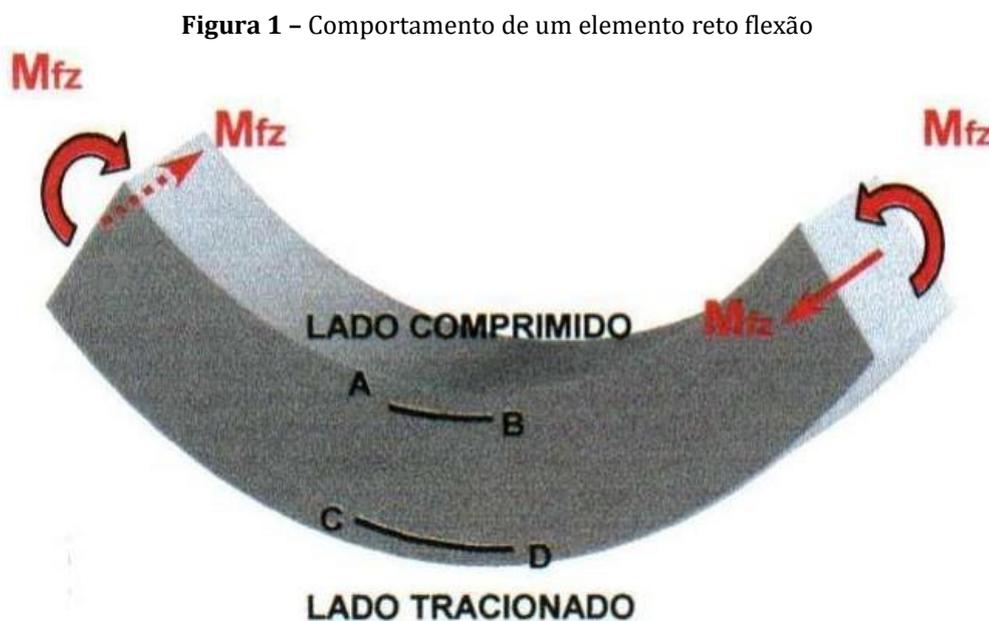
Portanto, o presente relatório apresenta uma estrutura textual na qual pontuam, ao longo das seções do corpo do estudo uma contextualização teórica, na qual objetivou-se relacionar a experiência e conceitos aplicados com o conhecimento técnico fornecido nas aulas, sobretudo, quanto a análise da propriedade mecânica (Resistência) quando submetida a viga a esforços de tração na flexão. Além disso, este estudo inclui descrição metodológica, apresentação de resultados e considerações técnicas relativas as implicações dos esforços aplicados na viga de concreto.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Primeiramente, torna-se relevante conceituar o elemento em estudo, a Viga, essa são elementos longos e retos que suportam cargas perpendiculares a seu eixo longitudinal. As vigas são classificadas de acordo com o modo como são apoiadas, podem também serem definidas como “elementos lineares em que a flexão é preponderante” (NBR 6118/141). (HIBBELER, 2010)

Nessa perspectiva, conforme Hibbeler (2010), na flexão de um elemento reto, sua

seção transversal irá permanecer plana enquanto a viga irá se deformar por flexão. Com isso, irá ocorrer com que um lado tenha a tensão de tração, e o outro a tensão de compressão (Figura 1).



Fonte: HIBBELER (2010)

É considerado flexão, até o momento em que não há deformação. Quando passa a haver, passamos a chamar de dobramento. Todas as forças aplicadas irão depender da sua localização e distância em relação ao ponto de apoio, isso fará com que gere o Momento Fletor.

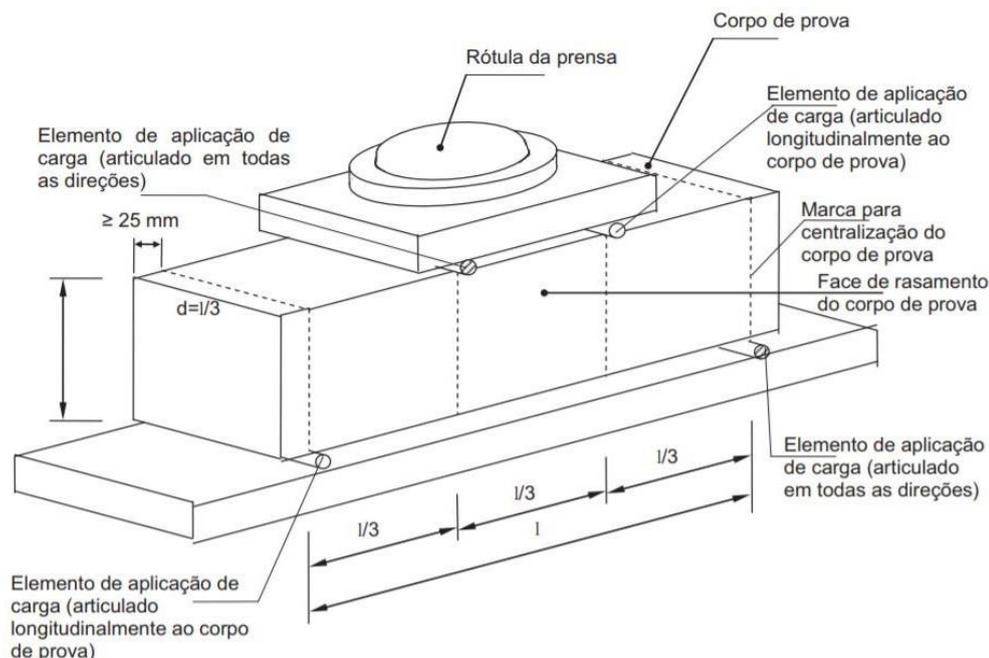
### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do ensaio de tração na flexão deu-se a partir do método indireto demonstrativo, na oportunidade a Técnica de Laboratório e o docente da disciplina Resistência dos Materiais II: Tomás Vasconcelos, realizaram as operações técnicas explicando-as passo-a-passo aos alunos, conforme as especificações ditadas pelas normas referentes ao material estudado.

O método para determinação da resistência à tração do concreto na flexão é realizado segundo a norma NBR 12142/91 ou ASTM C-78/94. Para o ensaio, o corpo de prova é posicionado sobre elementos de apoio de forma que a carga seja aplicada no terço médio. Os cutelos de aplicação de carga são instalados na face oposta,

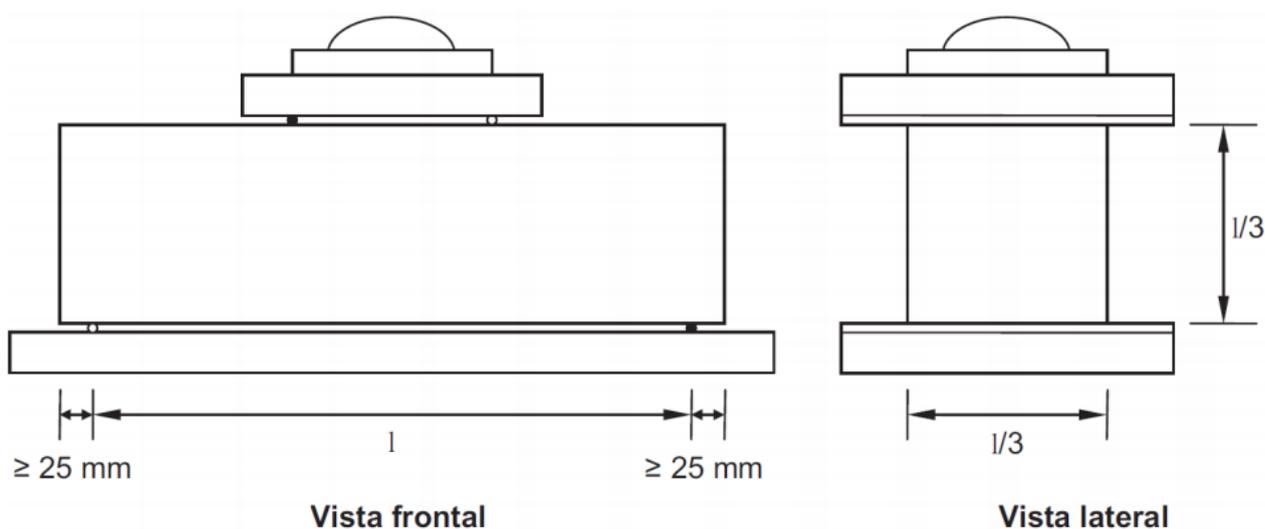
com seu ajuste nos extremos do terço médio da distância entre os cutelos de apoio (Engenheiros de FURNAS,1997). O desenho esquemático do dispositivo do ensaio de tração na flexão é apresentado nas Figuras 2 e 3.

**Figura 2** – Esquema do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão (Engenheiros de FURNAS, 1997)



**Fonte:** ABNT NBR 12142 (2010)

**Figura 3** – Esquema do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão (Engenheiros de FURNAS, 1997)

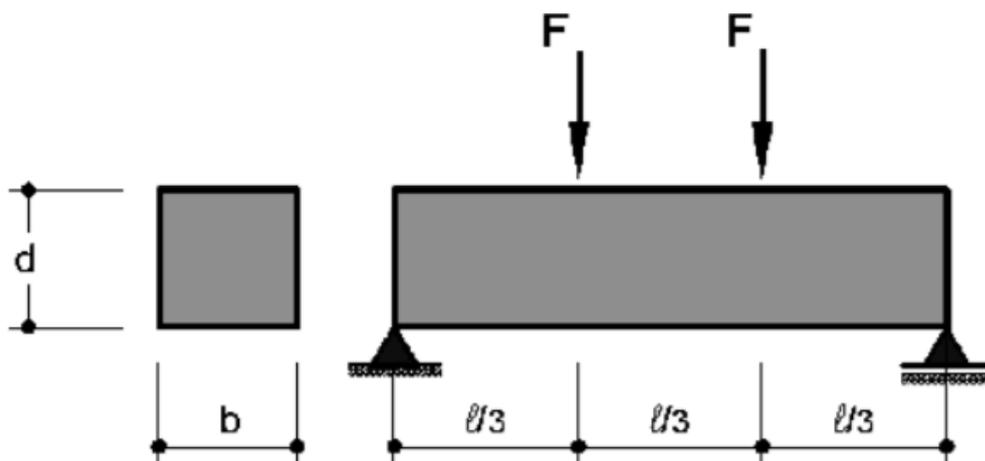


**Fonte:** ABNT NBR 12142 (2010)

### 3.1 EXECUÇÕES: ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Para a realização deste ensaio, um corpo de prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura, figura 4.

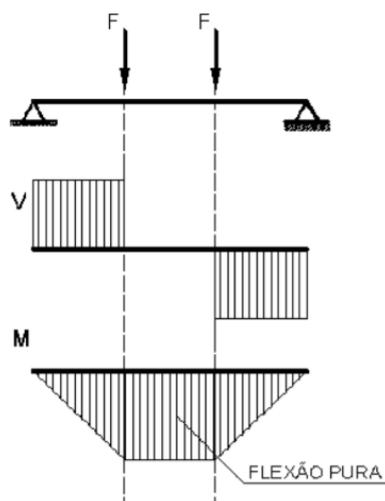
**Figura 4** – Ensaio de Tração na Flexão, imagem ilustrativa (considerar afastamento de 2,5cm entre apoios e extremidades)



Fonte: Acervo Pessoal (2019)

O ensaio também é conhecido por “carregamento nos terços”, pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão. Analisando os diagramas de esforços solicitantes, figura 5, pode-se notar que na região de momento máximo tem-se cortante nula. Portanto, nesse trecho central ocorre flexão pura.

**Figura 5** – Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão)



Fonte: Acervo Pessoal (2019)

### 3.1.1 Procedimentos do Ensaio

Nesse panorama, a técnica da experiência laboratorial concretizada, em suma, e a aparelhagem com o qual se foi executado o ensaio, fornecida pela instituição UNI-RN, é a que se segue apresentada no processo descrito a seguir, no qual expõem as diretrizes que orientaram o exame desenvolvido.

Portanto, fez-se indispensável:

- Seleção e Medição/demarcção das dimensões da Viga de Concreto, obtendo-se os valores de 50 cm de comprimento x 15 cm de altura x 15 cm de largura, e parcelando-a em 03 (três) partes iguais de 15 cm de espaçamento; (Figuras 6 e 7)

**Figura 6** – Processo de Seleção, Medição e Demarcação da viga de concreto utilizada



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

**Figura 7** – Processo de Seleção, Medição e Demarcação da viga de concreto utilizada



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

- Utilização da Máquina de ensaio de resistência (prensa), na qual há a colocação da Viga de Concreto de 50 cm por 15 cm no eixo horizontal entre os pratos da prensa, alinhando-a com as linhas de demarcações realizadas no material para nortear o ponto de aplicação da força aplicada pela prensa (Figura 8).

**Figura 8** – Aparelhagem e Colocação da Viga de Concreto de 50 cm por 15 cm no eixo horizontal entre os pratos da prensa



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

- Acionamento da máquina e medição da carga de ruptura do concreto em tonelada-força. (Figura 9).

**Figura 9** – Aparelhagem e Colocação da Viga de Concreto de 50 cm por 15 cm no eixo horizontal entre os pratos da prensa para o processo de ruptura



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

#### 4 RESULTADOS

Conforme o processo realizado, a carga de ruptura do concreto em tonelada-força fornecido pela prensa foi equivalente a 3,54TF (Figura 10). Portanto, a resistência à tração através da Flexão da Viga, conforme normas técnicas, dá-se por meio das fórmulas a seguir:

**Figura 10** – Ruptura da viga de concreto e verificação da força (TF) aplicada pela prensa hidráulica



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

$$1) F = F1 + F2$$

$$2) T_{fl} = \frac{F(TF) \times 1000 \times 45}{B \times H^2} = x 0,0980665 = MPa$$

Assim, faz-se necessário desenvolver a sequência de cálculos a seguir para obtenção do valor da resistência em análise (Resistência a Tração na Flexão).

Dessa maneira, sabendo que as dimensões de base da viga são 15 cm por 15 cm, efetua-se:

I. Os cálculos das reações nos apoios da estrutura ("A" e "B")

$$\begin{aligned} \sum MA &= -1,77 \times 15 - 1,77 \times 30 + RB \times 45 \\ -26,55 - 53,1 + 45RB &= 0 \\ -79,65 + 45RB &= 0 \\ 45RB &= 79,65 \\ RB &= \frac{79,65}{45} \\ \mathbf{RB} &= \mathbf{1,77 TF} \end{aligned}$$

Para o Somatório das forças no eixo "Y", faremos:

$$\begin{aligned} \sum FY &= 0 \\ RA - 1,77 - 1,77 + 1,77 &= 0 \\ \mathbf{RA} &= \mathbf{1,77 TF} \end{aligned}$$

Conhecendo-se que  $F = F1 + F2$ , logo:

$$\begin{aligned} F &= F1 + F2 \\ F &= 1,77 + 1,77 \\ \mathbf{F} &= \mathbf{3,54 TF} \end{aligned}$$

Portanto, a partir da expressão, preestabelecida na norma técnica, dada por  $F_{ctf} = \frac{F(TF) \times 1000 \times 45}{B \times H^2}$ , obteve-se que a resistência à tração através da Flexão da Viga é equivalente a:

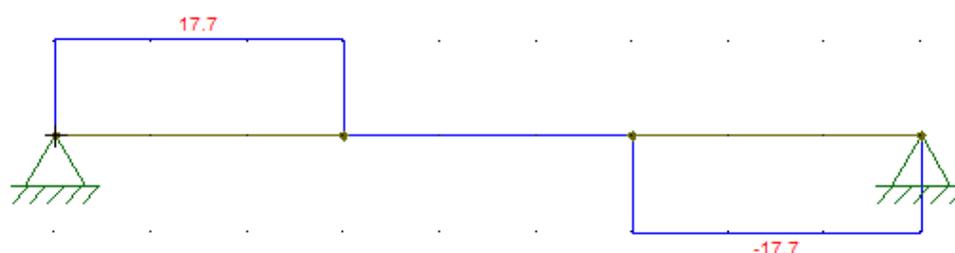
$$\begin{aligned} F_{ctf} &= \frac{F(TF) \times 1000 \times 45}{B \times H^2} \\ F_{ctf} &= \frac{3,54 \times 1000 \times 45}{15 \times 15^2} \\ F_{ctf} &= \frac{159300}{3375} \\ F_{ctf} &= \frac{236}{5} \times 0,0980665 \\ \mathbf{F_{ctf}} &= \mathbf{4,628 MPa OU 4,63 MPa} \end{aligned}$$

Em contrapartida, conforme os ensinamentos repassados em sala de aula, calculou-se a tensão na flexão, a fim de comparar os valores encontrados anteriormente, desse modo:

- II. Os cálculos das tensões de flexão e cisalhamento são realizados a partir das fórmulas  $\sigma = -\frac{M \cdot y}{I}$  para a tensão de flexão, e  $\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$  para tensão de cisalhamento.

Assim, com o auxílio do software Ftools conseguimos fazer os gráficos para as tensões na viga em foco:

**Figura 11:** Gráfico da Força Cortante (KN por m)



Fonte: Software ftools (2019)

**Figura 12:** Gráfico do Momento Fletor (KN.m por m)



Fonte: Software ftools (2019)

Portanto, observa-se nos gráficos que a força máxima de cisalhamento é de aproximadamente 17,7 KN (Figura 11) e o valor máximo do Momento Fletor é de 2,7  $KN \cdot M$  (Figura 12).

Para acharmos o valor da tensão máxima de flexão faz-se necessário calcular os valores de momento de inércia, considerando que trata de um retângulo sólido, usa-se a fórmula (I):

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (I)$$

$$I = \frac{150 \times 150^3}{12} = 42,19 \times 10^6 \text{ mm}^4 \text{ ou } 42,19 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Quanto ao centroide da peça, temos que:

$$Y = \frac{Y_1 \times A_1}{A_1} = 75 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Logo, com esses dados pode-se fazer o cálculo para a tensão de flexão, dada por:

$$\sigma = -\frac{M \cdot y}{I} = -\frac{(-2,7 \times 10^3) \times (75 \times 10^{-3})}{(42,19 \times 10^{-6})} = 4,8 \text{ MPa}$$

Assim, para calcular a tensão de cisalhamento, necessita-se encontrar o 't' (largura da seção no ponto a ser medido) e o 'Q' (Momento de primeira ordem da seção superior ou inferior do eixo neutro, a partir do ponto a ser medido).

Ou seja, o 't' nada mais é que a largura da parte analisada, sendo de 150mm.

Já o 'Q' podemos obter por meio da fórmula  $Q = y' \cdot A'$

$$Q = 37,5 \cdot (75 \cdot 150)$$

$$Q = 421,875 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Com todos os dados necessários para calcularmos a tensão de cisalhamento, faremos:

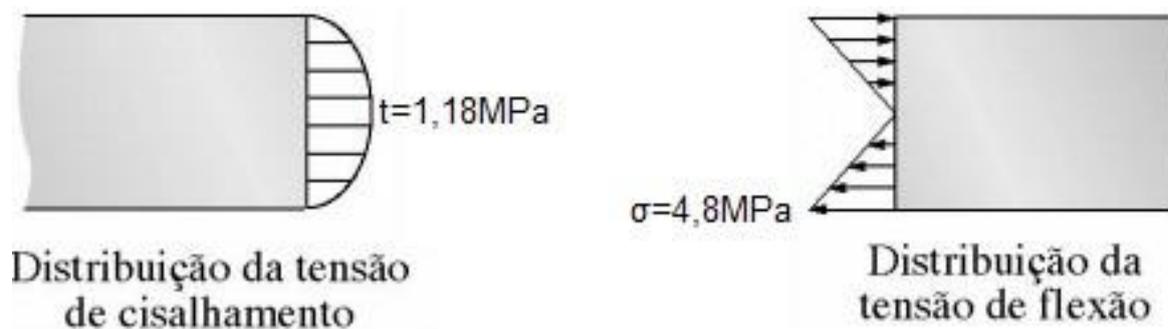
$$r = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$r = \frac{(17,7 \cdot 10^3) \cdot (421,875 \cdot 10^{-6})}{(42,19 \cdot 10^{-6}) \cdot (150 \cdot 10^{-3})}$$

$$r = 1,18 \text{ MPa}$$

Dessa maneira, a seguir (Figura 13), encontra-se os diagramas de flexão e de cisalhamento da viga. O primeiro nos mostra que o ponto onde ocorrerá tensão máxima de cisalhamento, que será exatamente no meio da peça, no centroide dela. E o segundo nos mostra que do meio para cima da peça ocorrerá compressão, e do meio para baixo ocorrerá flexão da viga analisada com valores máximos de 4,8MPa.

**Figura 13:** Diagramas de Flexão e Cisalhamento.



**Fonte:** Google Imagens (2019)

I. Fazendo uma comparação dos cálculos, entre os obtidos segundo a norma, e os conforme ministrados em sala de aula, apresentados pelo professor Tomás, chegamos a resultados parecidos, que só não foram exatos por questão de arredondamento no programa Ftools. Constatando, assim, que o concreto possui baixa resistência a esforços de tração (Figura 14), necessitando, portanto, para elevar sua capacidade de reforço estrutural, como por exemplo a adição de armadura de aço na área tracionada (concreto armado).

**Figura 14:** Viga trincada (Deformação elástica)



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

#### 4.1 ANÁLISE TÉCNICA: PROPAGAÇÃO DE TRINCAS

É sabido que, o conhecimento da resistência à tração permite estimar a carga para a qual ocorre a fissuração e, desse modo, prever a durabilidade do concreto. Essa fratura consiste na separação do material em 2 ou mais partes devido à aplicação de uma carga estática a temperaturas relativamente baixas em relação ao ponto de fusão do material, classificada como dúctil quando a deformação plástica continua até uma redução na área para posterior ruptura; e frágil quando não ocorre deformação plástica, requerendo menos energia que a fratura dúctil que consome energia para o movimento de discordâncias e imperfeições no material (CALIISTER, 1999).

Ao submeter os corpos de prova de Concreto, aos ensaios de tração na flexão observou-se o comportamento da Fratura conforme os preceitos teóricos (divisão em duas partes), figura 15, auxiliados pelo gráfico da tensão versus deformação, possibilitando caracterizar o material como frágil, pois, as amostras se rompem com um alongamento tipicamente menor do que 5% e mostram maior resistência mecânica.

**Figura 15** – Ruptura da viga de concreto devido a carga aplicada pela prensa hidráulica



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

Assim, mediante os resultados verificados, em que se observou através dos corpos de prova, uma Resistência a Tração na Flexão em torno de 4,63 MPa ( $F_{ctf}$ ), e cientes que os elementos estruturais e seus componentes são dimensionados e projetados de acordo com o material corresponde a sua estrutura, sendo

caracterizado como dúcteis ou frágeis, portanto, quando o engenheiro prepara o projeto para um determinado carregamento, deve-se já analisar qual o tipo de material empregado na obra, estabilizando, dessa forma, e estipulando um limite superior para o estado de tensões, definindo a falha do material e conseqüentemente resguardando a edificação contra Falhas.

De tal modo, sendo a fadiga o principal causador das falhas mecânicas, fenômeno esse baseado em carregamento cíclicos que leva a nucleação da trinca até a ruptura final do componente, necessitando para o cálculo de fadiga conhecer as tensões e/ou deformações atuantes na peça sob análise. Além das tensões, outro ponto importante é o tipo de carregamento, caracterizando com amplitudes constantes ou variáveis. Esse fator é extremamente relevante para a contagem de ciclos de fadiga.

Após o conhecimento das tensões e tipo de carregamento, o cálculo da vida de fadiga e mecânica da fratura podem ser investigadas nas áreas mecânicas e metalúrgica, para que adequações ao projeto sejam realizadas evitando a falha por este fenômeno, e sobretudo é imprescindível para orientar na inserção de reforços estruturais, visto que constatando que a propagação da trinca (Figura 16) possui orientação no eixo central, sendo de baixo para cima, logo percebeu-se que não há força no meio – centroide (mínima no meio e máximas nos apoios), assim será necessário reforçar a zona inferior da viga (mais fragilizada).

**Figura 16** – Ruptura da viga de concreto devido a carga aplicada pela prensa hidráulica



**Fonte:** Acervo Pessoal (2019)

Diante do material estudado: Concreto, compreende-se através do conhecimento adquirido que, os materiais cerâmicos (materiais inorgânicos constituídos por elementos metálicos e não metálicos, através de ligações químicas), apresentam as vantagens do baixo peso, resistência e dureza elevadas, ótima resistência ao calor e propriedades isolantes, contudo são materiais frágeis predominantemente (CALLISTER, 2018). No caso do Concreto, por exemplo, classificado como frágil pela inexpressível deformação plástica antes da ruptura, requerendo menos energia que a fratura dúctil que consome energia para o movimento de discordâncias e imperfeições no material.

Portanto, essa fragilidade da fissura tem sua origem na propagação de microfissuras, significando que geralmente a superfície de ruptura é perpendicular a direção de tensão aplicada. Conclui-se quanto a ruptura, que o concreto se rompe fragilmente à compressão e à tração, sem praticamente nenhuma ductilidade. Assim, nas aplicações práticas constatou-se a fragilidade do concreto. Da mesma forma, a energia necessária para fraturar o material à tração, conhecida como tenacidade, é muito baixa.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dentre valores de resistência à tração que podem ser obtidos para um mesmo concreto, o obtido na flexão é, geralmente, o maior deles. Isso é explicado pela forma através da qual a resistência é obtida. A equação utilizada para o cálculo da resistência à tração, nesse ensaio, considera o comportamento elástico do concreto no ponto de ruptura. No entanto, essa situação não corresponde ao estado real da viga de concreto no momento da ruptura (RAPHAEL, 1984). Na realidade, a curva tensão-deformação torna-se não linear quando o concreto está próximo à ruptura. Além disso, devido a tensão máxima estar localizada na fibra mais externa, que é restringida pela fibra mais próxima do material menos tensionado, a tensão máxima alcançada é maior do que a resistência à tração real sob tensão uniforme (ZHENG et al., 2001).

Nessa perspectiva, conclui-se que os objetivos traçados, neste relatório, foram alcançados, porém é indicado e necessário um estudo mais aprofundado das características do material avaliado, para que possamos dominá-lo de maneira eficiente e caracterizá-lo em todas as demais propriedades atreladas, e não pontuadas, para o

material observado.

## REFERÊNCIAS

BUFFONI, Salete. **Critérios de falhas**. SD. Disponível em:. Acesso em: 02 abr.2019.

CALLISTER William D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 8.ed [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2011. p 129-162.

CALLISTER William D.; David G. Rethwisch. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 8.ed Rio de Janeiro: LTC, 2012

DESCONHECIDO. **TEORIA DAS FALHAS**. Disponível em:  
<[http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_12440atp3\\_-\\_texto2\\_pdf\\_ATP3\\_-\\_TEXTO2.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_12440atp3_-_texto2_pdf_ATP3_-_TEXTO2.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2019.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 628 p.

JOSÉ GUILHERME. Ensus. **FADIGA: A principal causa raiz das falhas mecânicas – O que é? Como Identificar e Prevenir?**. Disponível em: <<http://ensus.com.br/fadiga/>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

VARELA, Márcio. **Apostila de Materiais de Construção**. Natal: Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2012. 96 p. Disponível em:  
<[https://issuu.com/rainy8/docs/apostila\\_materiais\\_construcao\\_marci](https://issuu.com/rainy8/docs/apostila_materiais_construcao_marci)>. Acesso em: 28 março 2019.

ZOLIN, Ivan. **Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas**. Disponível em:  
<[http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_ctrl\\_proc\\_indust/tec\\_autom\\_ind/ensaio\\_mec/161012\\_ens\\_mec\\_an\\_fal.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ensaio_mec/161012_ens_mec_an_fal.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2019.