

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DESCIMBRAMENTO EM DIFERENTES IDADES NA FLUÊNCIA DO CONCRETO AO LONGO DO TEMPO

Orivalte Puziski (1), Alexandre Vargas (2);  
UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)[orivalte@hotmail.com](mailto:orivalte@hotmail.com), (2)[avargas@unesc.net](mailto:avargas@unesc.net)

## RESUMO

Sendo o concreto um elemento visco-elasto-plástico, que sofre deformações lentas significativas, fica evidenciada a importância do estudo das deformações diferidas no tempo ocorridas em elementos de concreto armado, para se avaliar o impacto da precocidade do carregamento nas estruturas nas deformações danosas aos elementos estruturais e ao conjunto total da construção. O presente trabalho visa obter dados sobre o comportamento, quanto às flechas, de vigas fabricadas com concreto convencional, submetidas à flexão simples. O objetivo principal foi avaliar os efeitos do prazo de descimbramento na flecha total em vigas de concreto. O programa experimental se ateve ao monitoramento das flechas de oito vigas de concreto armado em diferentes idades de retirada do escoramento para posterior análise comparativa com resultados teóricos. Os resultados aferidos evidencia que a flecha total é maior quanto menor for a idade do concreto endurecido submetido a carregamento.

*Palavras-Chave: flechas, deslocamentos, fluência, descimbramento.*

## 1. INTRODUÇÃO

As deformações ocorrem em todas as estruturas que sofrem carregamento ou não. O estudo dessas deformações vem sendo cada vez mais necessário, visto que o concreto é o principal material estrutural utilizado nas construções. O objetivo desses estudos visa minimizar os efeitos indesejados das deformações, pois, sabendo que os materiais construtivos possuem módulos de deformação diferentes, é necessário prever e controlar a magnitude desses efeitos para que o sistema construtivo trabalhe de forma adequada.

Atualmente, no âmbito das estruturas de concreto armado, os problemas ocorridos devido às deformações excessivas nos elementos estruturais, têm chamado à atenção de especialistas e usuários. As estruturas estão ficando cada vez mais esbeltas e os prazos de descimbramento cada vez menores, sendo assim necessário o conhecimento aprofundado do quanto é prejudicial a retirada precoce do escoramento das estruturas de concreto armado.



A previsão das deformações de vigas, especificamente quanto aos deslocamentos transversais (flechas), é muito importante para o projeto, a execução e a utilização destas estruturas. Devido a sua magnitude, estas deformações, ditas lentas ou de longo prazo, são de fundamental importância para o desempenho satisfatório de uma viga em serviço, pois elas afetarão não somente a própria viga, mas toda a estrutura ligada a ela e podendo causar efeitos deletérios sobre os elementos não estruturais ligados a viga.

Quando o concreto é submetido a ação de uma carga permanente, irá ocorrer uma deformação ao longo do tempo em que a carga é mantida e tenderá a se estabilizar no tempo infinito, essa deformação é chamada de fluência. Além disso, quando o concreto seca, perde umidade e se contrai, estando ou não sob a ação de um carregamento, irá ocorrer a retração. “As intensidades da retração e da fluência são da mesma ordem de grandeza da deformação elástica devidas a tensões usuais, de modo que os diversos tipos de deformações sempre devem ser levadas em conta”. (NEVILLE, 1997, p. 413).

Se o concreto é submetido a um carregamento e está sujeito a secar ao mesmo tempo, é conveniente admitir que a fluência e a retração sejam aditivas, assim, a fluência é calculada como a diferença total de deformação do elemento carregado, com a deformação que o elemento sofre nas mesmas condições e período de tempo só que não carregado. Mas a retração e a fluência não são fenômenos independentes aos quais pode ser aplicado o princípio da superposição e, na realidade, a retração tem efeito de aumentar a fluência. No entanto, no caso de muitas estruturas reais, a fluência e a retração são simultâneas e, do ponto de vista prático, é conveniente o tratamento conjunto das duas. (NEVILLE, 1997).

Sendo assim, neste trabalho será considerada a deformação por fluência, como uma deformação além da retração, uma vez que ambas são simultâneas e fica difícil o tratamento individualizado.

Um dos aspectos mais importantes ao se tratar da fluência em estruturas de concreto armado diz respeito às tensões aplicadas e, conseqüentemente, das relações tensão-resistência. Então, para se minimizar as deformações excessivas deve-se controlar as operações de escoramento e reescoramento e adiar ao máximo possível os primeiros carregamentos a serem suportados pelo concreto.



A NBR 14931:2004, que trata da execução de estruturas de concreto armado, não determina prazos para o descimbramento, apenas descreve que o escoramento e fôrmas não devem ser removidos até o concreto adquirir resistência suficiente para suportar a carga imposta no presente estágio, evite deformações que excedam as tolerâncias específicas e resista a danos ocorridos à superfície durante a remoção. Muitas vezes, elementos estruturais atingem resistência para suportar as cargas que lhe são impostas naquela fase da construção, ainda muito cedo, já que a maior parte do carregamento estará na sobrecarga, o que não significa dizer que este concreto já esteja adequado para o descimbramento, pois quanto mais jovem o concreto for submetido a carregamentos, mais suscetível à deformação lenta estará.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram confeccionadas oito vigas, com o mesmo tipo de concreto, mesma quantidade e disposição de armadura e mesma seção. A dimensão adotada foi de largura igual a 12 cm e altura de 28 cm, e um vão teórico igual a 388 cm e uma altura útil de 25,18 cm. A resistência característica a compressão do concreto utilizado foi de 25 MPa. Os estribos tiveram espaçamento de 15 cm e diâmetro de 5 mm. A armadura superior (porta estribo) foi adotada de 5 mm, e a armadura inferior de flexão foi de 6.3mm, resultando em uma área de aço igual a 0,64 cm<sup>2</sup>. A partir dessa armadura de flexão foi calculada o carregamento necessário para o ensaio como é mostrado no cálculo a seguir.

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,68 \cdot b_w \cdot f_{cd}}$$

$$x = \frac{0,64 \cdot (5000 / 1,15)}{0,68 \cdot 12 \cdot (250 / 1,4)} \rightarrow x = 1,91 \text{ cm}$$

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_d = 0,64 \cdot (5000 / 1,15) \cdot (25,18 - 0,4 \cdot 1,91)$$

$$M_d = 679,40 \text{ kgfm}$$

$$M_k = M_d / 1,4 \rightarrow M_k = 679,40 / 1,4 \rightarrow M_k = 485,29$$

kgfm

$$P_p = 0,28 * 0,12 * 2500 \rightarrow p_p = 84 \text{ kgf/m}$$

Momento gerado pelo peso próprio:

$$M_{k_{pp}} = (q * L^2) / 8$$

$$M_{K_{PP}} = (84 * 3,88^2) / 8 \rightarrow M_{K_{PP}} = 158,07 \text{ kgfm}$$

Momento gerado pela carga:

$$M_{k_{cg}} = M_k - M_{k_{pp}} \rightarrow M_{k_{cg}} = 485,29 - 158,07 \rightarrow M_{k_{cg}} = 327,22 \text{ kgfm}$$

Carga a ser aplicada:

$M_{k_{cg}} = (P * L) / 4 \rightarrow P = (327,22 * 4) / 3,88 \rightarrow P = 338,00 \text{ kgf.}$  (aplicado no centro do vão da viga).

A figura 1 mostra o detalhamento da armadura.

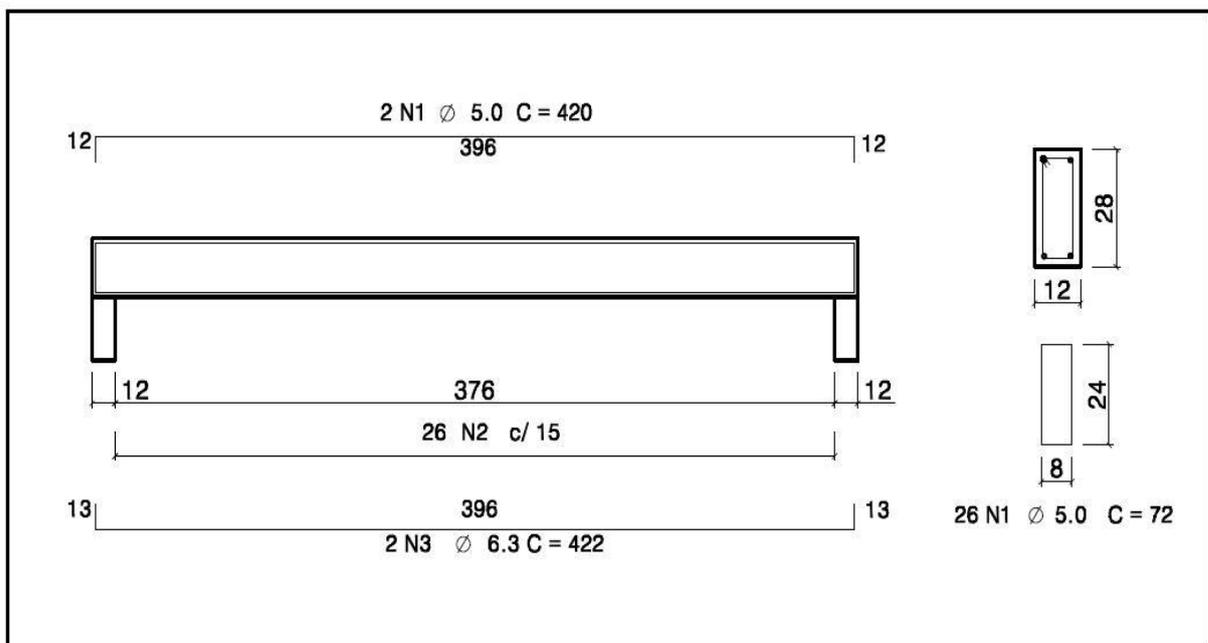


Figura 1: Detalhamento da armadura

A figura 2 mostra o modelo do experimento.

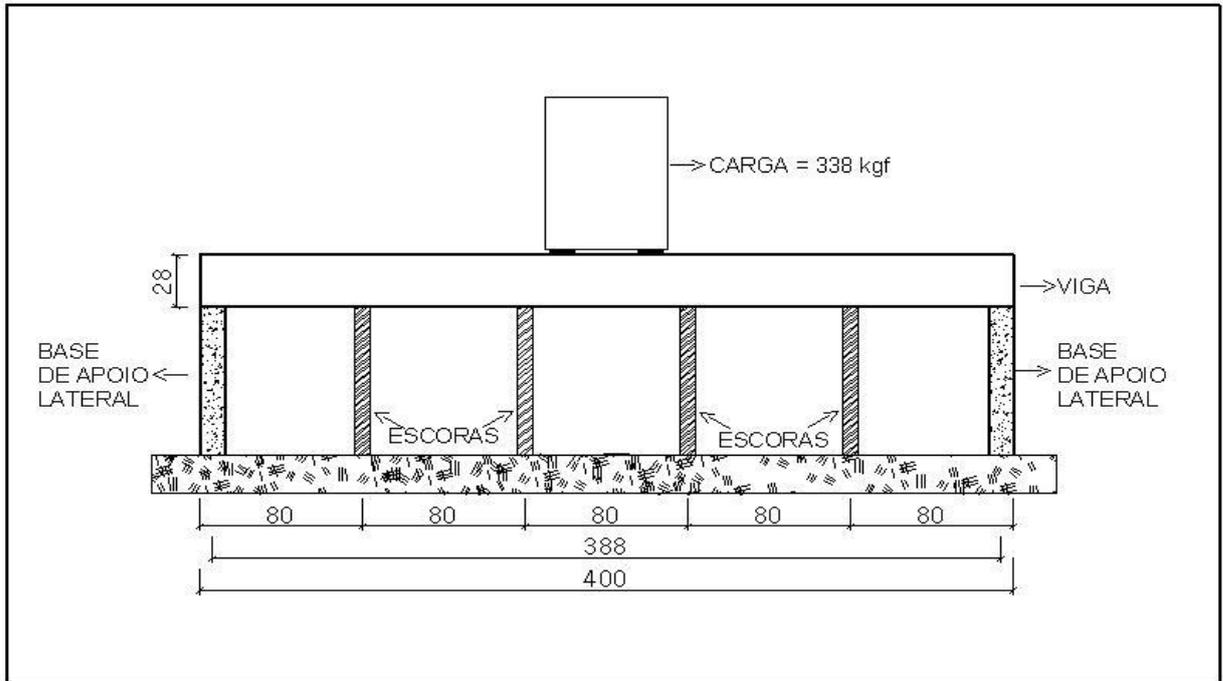


Figura 2: esquema do experimento

A figura 3 mostra como o experimento foi realizado.



Figura 3. Amostras para pesquisa

Para a determinação dos deslocamentos verticais foram utilizados relógios comparadores com a precisão de centésimos de milímetro. O carregamento e monitoramento foram desenvolvidos da seguinte forma: foi fixada a posição inicial da viga, no ponto central com escoramento, e na sequência, aplicado o carregamento total. Foi retirado o escoramento e medida a flecha imediata no centro do vão. Depois disso, as medições foram feitas uma vez por semana durante os seis meses do experimento. A idade de descimbramento para cada viga se deu conforme a figura 4.

Viga	V1	V2	V3, V4	V5, V6	V7, V8
Idade de descimbramento (dias)	3	7	15	30	120

Figura 4. Idade de retirada do escoramento.

## 2.1 MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA FLECHA IMEDIATA

Segundo a NBR 6118:2003, a verificação das deformações da estrutura deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, ou seja, que levem em consideração a presença de armadura, a existência de fissuras no concreto e as deformações diferidas no tempo.

Para estimar a flecha imediata, foi adotado o método de cálculo do Princípio dos Trabalhos Virtuais (PTV) com base na teoria da conservação de energia, que apresenta a equação 1 para determinação da flecha imediata:

$$EI.a_i = \int M.M_v dx \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

$EI$  = rigidez equivalente;

$a_i$  = flecha imediata;

$M$  = momento fletor;

$M_v$  = momento virtual.



Para uma avaliação aproximada da flecha imediata em vigas, pode-se utilizar a expressão (equação 2) de rigidez equivalente prescrito no item 17.3.2.1.1 da NBR 6118:2003:

$$(E.I)_{eq} = E_{cs} \cdot \{ (M_r / M_a)^3 \cdot I_c + [ 1 - (M_r / M_a)^3 \cdot I_{II} ] \} \leq E_{cs} \cdot I_c \quad (\text{Equação.2})$$

sendo que:

$I_c$  – momento de inércia da seção bruta de concreto;

$I_{II}$  – momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II;

$M_a$  – momento fletor na seção crítica do vão considerado; momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços para a combinação de ações considerada nessa avaliação;

$M_r$  – momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;

$E_{cs}$  – módulo de elasticidade secante do concreto.

## 2.2 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA FLECHA DIFERIDA NO TEMPO

Conforme o item 17.3.2.1.2 da NBR 6118:2003, a flecha adicional diferida no tempo, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada (equação 3), pela multiplicação da flecha imediata pelo fator  $\alpha_f$  dado pela equação da expressão 4.

$$a_f = a_i \cdot \alpha_f \quad (\text{Equação 3})$$

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \cdot \rho'} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:



$\rho' = (A_s' / b.d)$  ( o valor de  $\rho'$  será ponderado no vão de maneira análoga ao cálculo de I eq);

$A_s'$  – área da armadura de compressão no trecho considerado;

$\xi$  – coeficiente função do tempo, sendo  $\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$ ;

$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996)^t \cdot t^{0,32}$  para  $t \leq 70$  meses; ou

2 para  $t \geq 70$  meses;

$t$  – tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;

$t_0$  – idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração; se as parcelas de carga de longa duração forem adotadas em idades variadas, então

$$t_0 = \frac{\sum P_i \cdot t_{oi}}{\sum P_i} ;$$

$P_i$  – parcelas de carga; e

$t_{oi}$  – idade ( em meses) em que se aplicou cada parcela  $P_i$  .

Sendo a flecha total expressa pela equação 5.

$$a_t = a_i + (a_i \cdot \alpha_f) \quad \text{(Equação 5)}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados é feita em duas etapas, sendo que na primeira ocorre um comparativo dos resultados obtidos experimentalmente com os resultados analíticos, verificando-se a compatibilidade dos dados gerados. Em seguida se analisa e discute os resultados do experimento e os efeitos dos mesmos nas estruturas de concreto armado.

### 3.1 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS ANALÍTICOS

Para o cálculo das flechas diferidas foi utilizado o modelo de cálculo recomendado pela NBR 6118:2003. As figuras 5 a 9 apresentam gráficos comparando os deslocamentos obtidos no experimento com os calculados analiticamente.

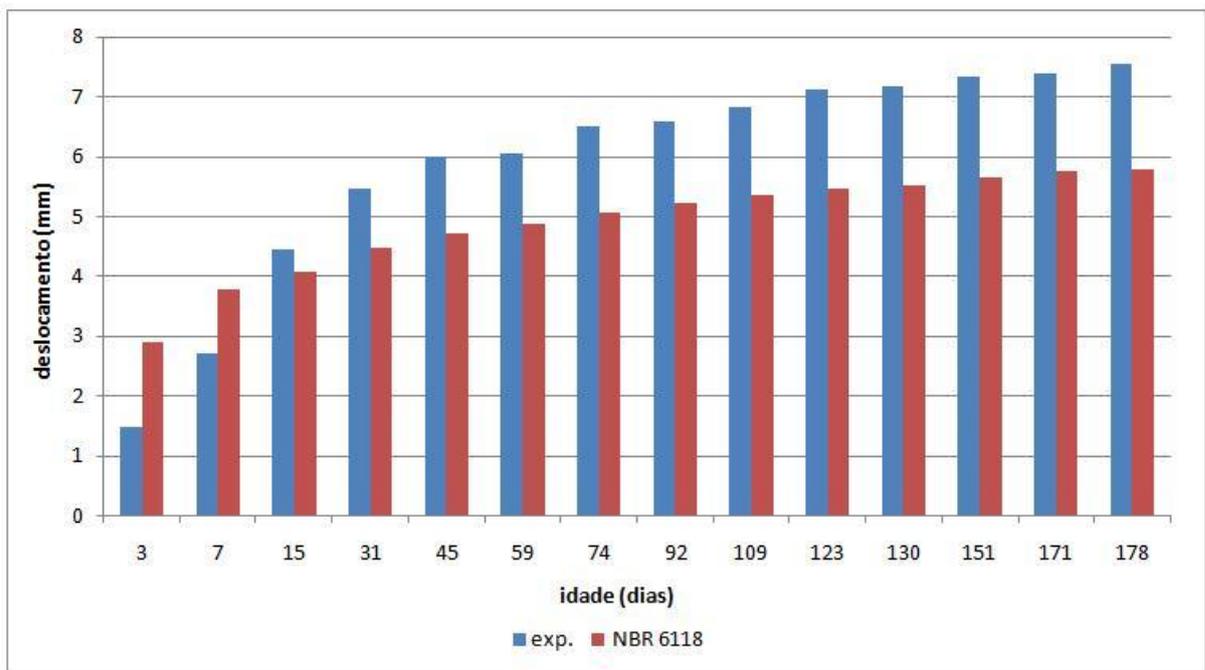


Figura 5 - Comparação flechas amostra 1, idade de 3 dias.

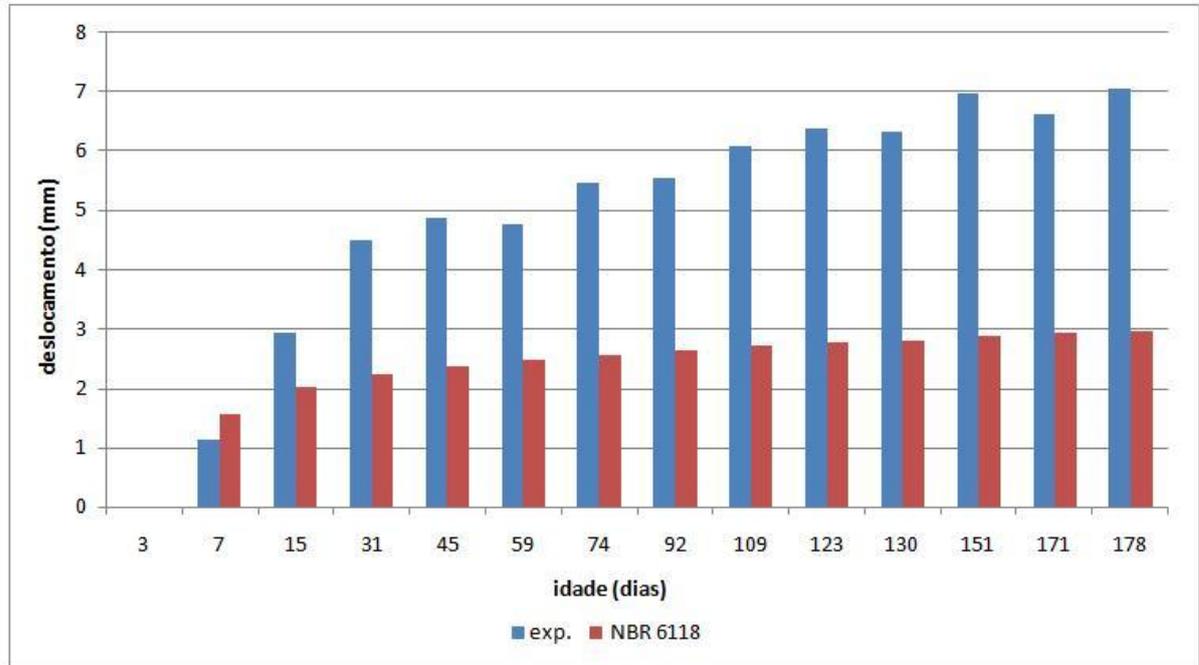


Figura 6 - Comparação flechas amostra 2, idade de 7 dias.

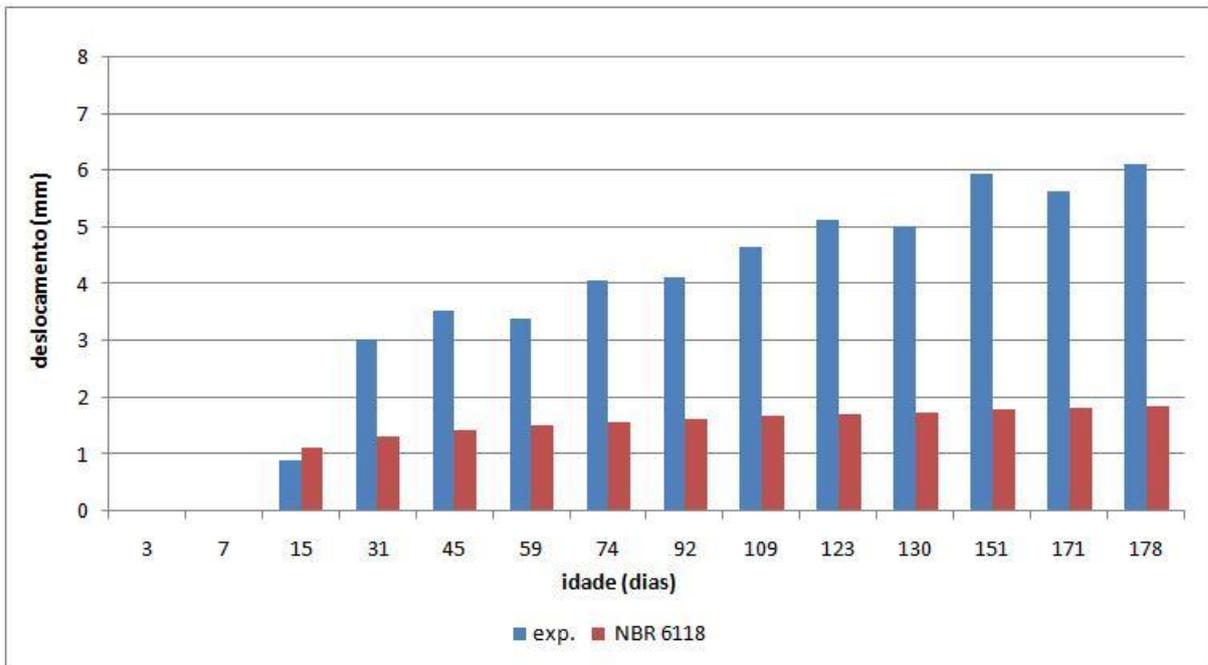


Figura 7 - Comparação flechas amostra 3, idade de 15 dias.

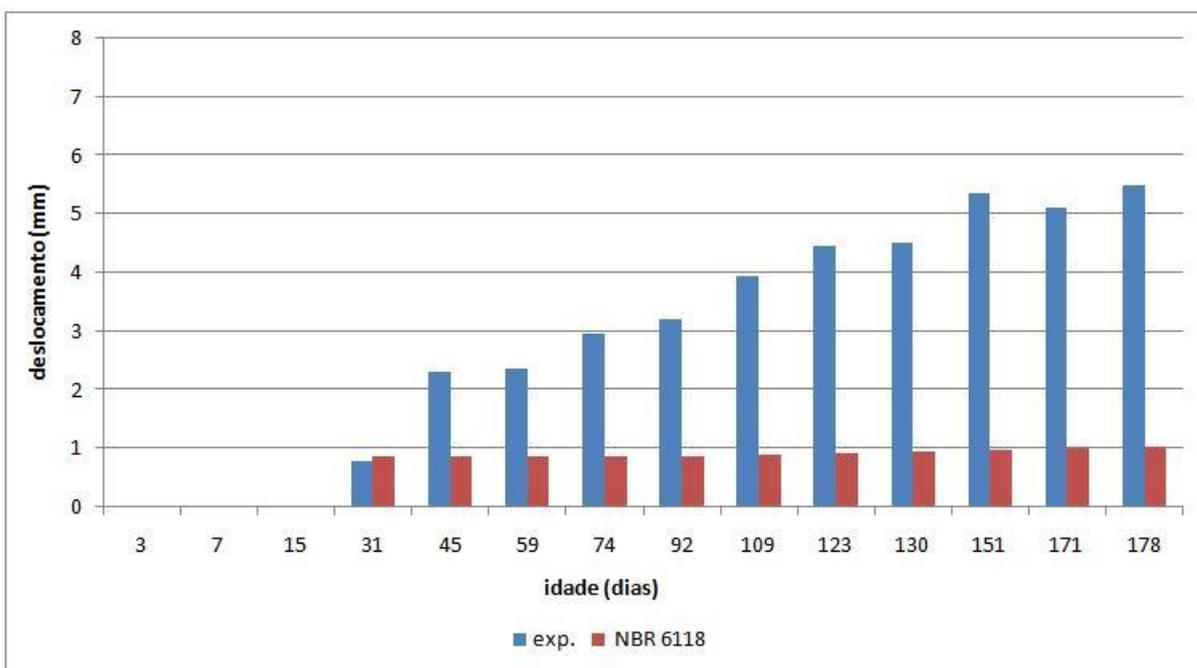


Figura 8 - Comparação flechas amostra 4, idade de 31 dias.

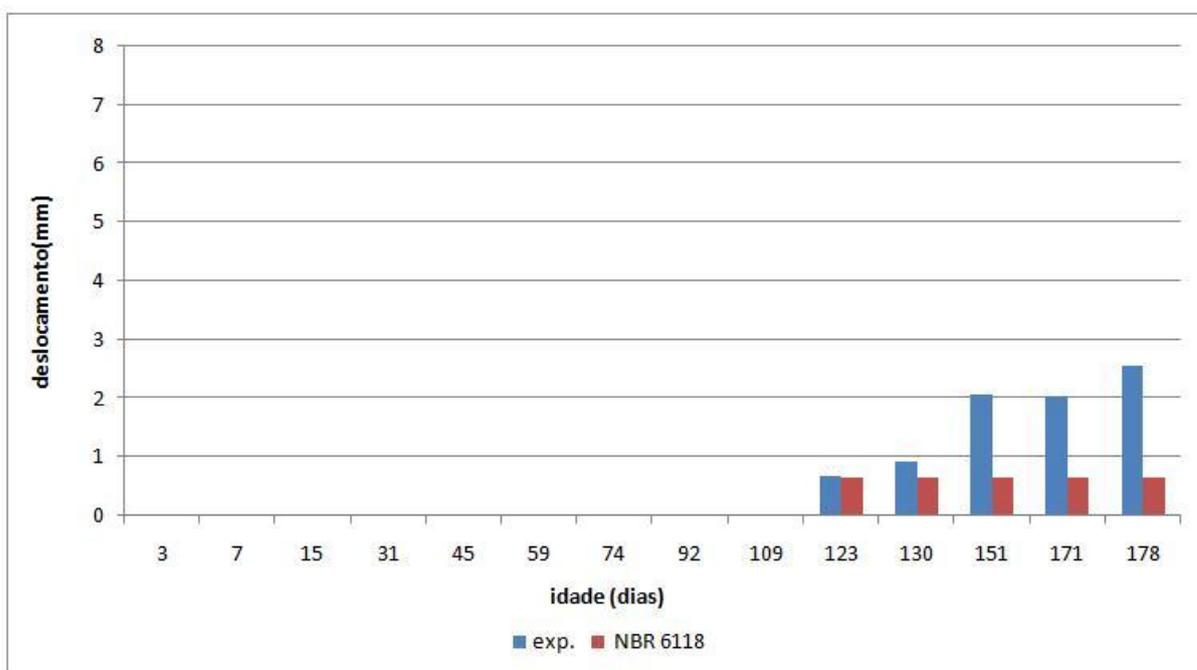


Figura 9 - Comparação flechas amostra 5, idade de 123 dias.

Segundo o que é apresentado nos gráficos para a determinação da flecha imediata de acordo com o que é sugerido pela norma, os resultados apresentaram-

se próximos apenas para as amostras com descimbramento igual a 15, 31, 120 dias. Para a amostra de 3 e 7 dias os valores foram distantes sendo que para a amostra descimbrada a 3 dias o valor calculado da flecha imediata foi cerca de duas vezes menor em relação ao do experimento.

Quanto a flecha diferida, os resultados comparativos foram próximos apenas no caso da amostra 1 descimbrada aos três dias, mesmo assim os valores da norma foram menores apresentando uma diferença de 23% menor. Para os outros casos os valores calculados também foram sempre menores do que os obtidos no experimento, sendo que a diferença aumenta quanto maior for a idade de descimbramento.

Para a amostra de descimbramento de 31 dias, o valor da flecha total aos 178 dias foi de 5,5 mm, enquanto o valor calculado foi de 1,03 mm, portanto uma diferença de 5 vezes mais de deformação real em relação a calculada.

### 3.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O gráfico da figura 10 mostra as deformações para cada amostra do experimento.

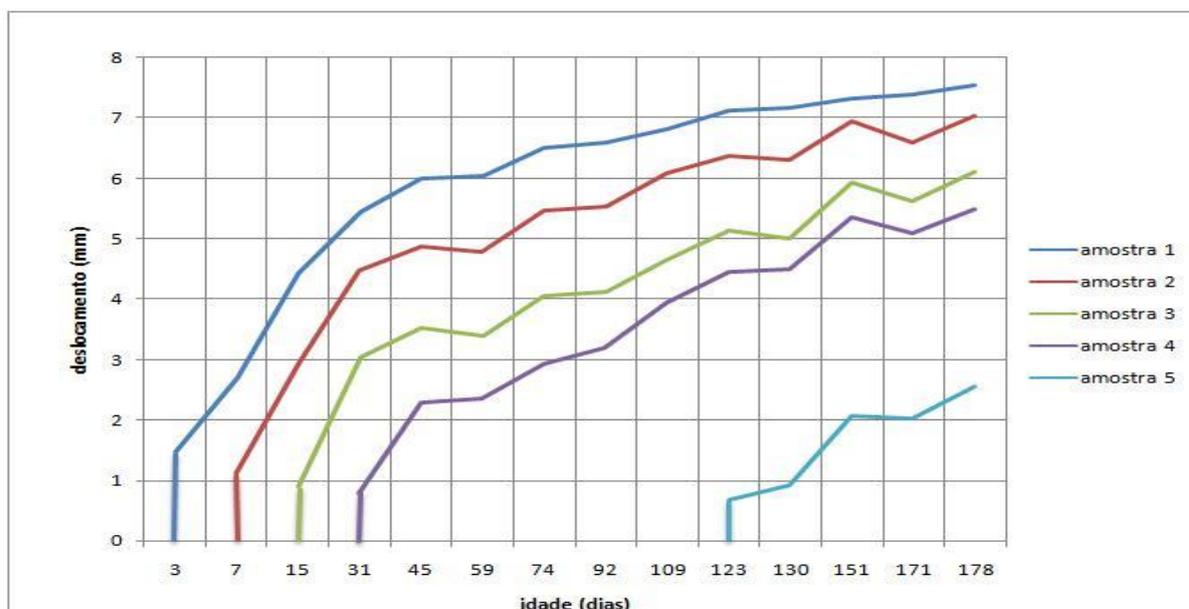


Figura 10: Flechas ao longo do tempo.

Em geral a maior parte da flecha total ocorreu nos dois primeiros meses do experimento sendo que para as amostras de menor idade de escoramento a flecha foi mais expressiva ficando em torno de 65 a 80% da flecha total.

O gráfico da figura 10 mostra claramente que o tempo de cimbramento é um fator decisivo no grau de deformação de uma peça de concreto armado, pois a variação de tempo influencia diretamente na relação tensão-resistência atuante no concreto, e que não só a flecha diferida é menor, como também, flecha imediata.

As amostras que tiveram o descimbramento efetuado aos 3, 7 e 15 dias apresentaram surgimento de fissuras, como mostra a figura 3.7, mostrando assim que concretos submetidos a carregamentos ainda jovens são mais suscetíveis a apresentarem problemas neste aspecto, provocando posteriormente patologias indesejáveis a construção.



Figura 11: fissuras nas amostras

O resultado do experimento teve total concordância com o que se encontra na literatura de Neville, de que concretos mais velhos possuem maior resistência a deformação lenta confirmando-se a importância de se respeitar prazos de cimbramento.



#### 4. CONCLUSÕES

Analisando a comparação dos resultados experimentais e os resultados de cálculo é possível afirmar que os procedimentos de cálculo da estimativa da flecha imediata prescritos pela NBR 6118:2003 mostraram-se adequados apenas para vigas com idade de descimbramento igual ou maior a 15 dias. Para a estimativa da flecha diferida, os procedimentos prescritos na NBR 6118:2003, mostraram-se inadequados principalmente quando se aumenta o tempo de cimbramento.

Em relação ao tempo de cimbramento, de acordo com a análise dos resultados fica provado que quanto maior for o tempo de cimbramento de uma estrutura de concreto armado, menores serão as deformações imediatas e a longo prazo, reduzindo assim as chances de futuras patologias ou simplesmente deformações exageradas.

Para minimizar o efeito nocivo das deformações em uma estrutura de concreto armado, o ideal seria manter o escoramento o máximo de tempo possível, porém, na prática isso não é fácil de acontecer devido ao cumprimento de prazos de entrega dos empreendimentos, portanto o descimbramento de uma estrutura de concreto armado deve ser determinado em função da flecha máxima aceitável (somando a flecha imediata e a diferida ao longo do tempo), e a abertura máxima de fissuras que ocorre principalmente em vigas carregadas ainda muito jovens.



## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).– **Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **Execução de estruturas de concreto: Procedimentos**. NBR 14931. Rio de Janeiro, 2004.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997