



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Estudo sobre as deformações por fluência à compressão de argamassas a base de cimento Portland utilizando a norma ASTM C512 e modelos de previsão de fluência

Iranildo Barbosa da Silva Junior¹, Matheus Pimentel Tinoco², Júlio Alves da Silva Neto³

¹ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/
iranildobsj@hotmail.com

² Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/
tinocomatheus19@gmail.com

³ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/
julioneto7@gmail.com

Resumo

A fluência em materiais cimentícios é um fenômeno de grande importância no que tange a integridade das estruturas. A fluência pode ser definida como um acréscimo contínuo das deformações ao longo do tempo que pode comprometer o desempenho e a durabilidade dos materiais ao longo de sua vida útil. Com objetivo de entender melhor este comportamento, o presente trabalho compara as deformações por fluência de argamassas submetidas à compressão obtidas de forma analítica, por meio de modelos matemáticos de previsão de fluência, com resultados obtidos experimentalmente. Os valores de deformações calculadas de forma analítica foram obtidos a partir das recomendações da NBR 6118 (2014), *ACI 209R* (2008) e do *fib Model Code* (2010). Os resultados experimentais foram obtidos a partir das recomendações da ASTM C512, fazendo-se as devidas adaptações. Concluiu-se, ao final das análises, que os modelos analíticos foram capazes de estimar as deformações de longa duração e os coeficientes de fluência, fornecendo resultados condizentes com os resultados obtidos experimentalmente.

Palavras-chave

Fluência; Argamassa; Materiais cimentícios; Propriedades mecânicas.

Introdução

O concreto é um material de construção de grande importância em todo o mundo e seu consumo cresce a cada ano, resultando em uma utilização de cimento de 55 milhões de toneladas no Brasil em 2019, segundo a *Statista Inc* (M. GARSIDE, 2019). As vantagens deste material podem ser relacionadas à fácil obtenção dos insumos, além de um baixo custo, produção simples e flexibilidade de aplicações. O concreto também possui propriedades físicas que dependem do tempo e sofrem alterações dependendo do ambiente de exposição (METHA; MONTEIRO, 2006). O processo reológico deste material ocasiona deformações por fluência ou relaxação de tensões nas estruturas (SIDOROV; NOWAK, 2017). A fluência é definida como um aumento de deformação ao longo do tempo em estruturas sujeitas a carregamento constante. Relaxação, por sua vez, é uma manifestação contrária, definida como a mudança de tensão ao longo do tempo para uma deformação constante aplicada (METHA; MONTEIRO, 2006). Sob o ponto de vista estrutural, as manifestações reológicas do concreto podem levar as estruturas não somente a uma mudança no estado tensão-deformação, mas também ocasionar mudanças fundamentais na sua integridade, levando a sua ruptura (SIDOROV; NOWAK, 2017). Deste modo, é de grande importância entender as propriedades de curto e longo prazo destes materiais e desenvolver modelos analíticos confiáveis, que permitam prever o seu comportamento.

A previsão realística da fluência, entretanto, pode ser uma tarefa difícil, uma vez que vários mecanismos físicos dos materiais e parâmetros constitutivos podem afetar o seu resultado (KATAKOA, 2010). Os primeiros modelos de previsão de fluência foram estabelecidos em 1982 e desde então diversos autores e comitês técnicos propuseram novos modelos matemáticos. Dentre os modelos mais atribuídos estão o: *ACI 209R* (2008), o *fib Model Code* (2010), Eurocode 2 (2010), Bazant e Bawekja (1995) e a norma brasileira NBR 6118 (2014).



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

O estudo da fluência de materiais cimentícios ainda é um tema pouco explorado quando se trata de argamassas, sendo abordado mais propriamente o concreto com agregados graúdos e de resistência comum. Assim, muitos estudos têm abordado a deformação por fluência, relaxação e as propriedades reológicas básicas de concretos com a combinação de modelos matemáticos simples obtidos a partir da combinação de diversos ensaios experimentais conduzidos ao longo dos anos. O objetivo deste trabalho é selecionar e avaliar os principais e mais usuais modelos de previsão de fluência para comparar com a deformação por fluência de argamassas a base de cimento e cinza volante obtida experimentalmente.

Materiais e métodos

Os materiais utilizados neste trabalho foram o cimento Portland CP II F – 32 da empresa LafargeHolcim, metacaulim fabricado pela Metacaulim do Brasil Indústria e Comercio Ltda, cinza volante fabricado pela Poço Fly e areia de rio peneirada com diâmetro máximo de 1,18mm e mínimo de 150 μm . O superplastificante fabricado pela empresa BASF com teor de sólidos de 32%, à base de éter policarboxílico. A argamassa foi fabricada a partir da substituição parcial de 40% de cimento por metacaulim e da adição de superplastificante no teor de 0,8% da massa de cimento. O traço adotado para a argamassa foi de 1:1:0,4 (areia; materiais cimentícios; água), sendo os materiais cimentícios compostos por cimento, cinza volante e metacaulim e 10% de cinza volante. Os detalhes da dosagem utilizada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Dosagem da argamassa utilizada.

Cimento (Kg/m ³)	Areia (Kg/m ³)	Metacaulim (Kg/m ³)	Cinza Volante (Kg/m ³)	Água (Kg/m ³)	Superplastificante (Kg/m ³)
442,8	885,6	354,2	88,6	339,2	22,1

O teor de superplastificante foi ajustado a partir de ensaios de abatimento do tronco de cone, *flow table test*, de acordo com a ASTM C230 (2010). Foram realizados testes para se obter valores um material de alta consistência, com consistência de 350 mm para a mistura, além de atender ao requisito de não segregação dos agregados.

A argamassa utilizada foi testada à compressão uniaxial para determinar sua resistência. Os ensaios foram realizados em um equipamento universal de ensaios mecânicos MTS, modelo 810/500, com capacidade de carga de 500 kN, aos 7, 14 e 28 dias. Para cada uma das idades, foram realizados testes em três corpos cilíndricos com dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro. A taxa de carregamento utilizada foi de 0,1 mm/min e o deslocamento vertical foi medido através de dois transdutores de deslocamento (LVDT's) de 5 cm de comprimento acoplados em anéis de acrílico ao redor dos corpos de prova. O deslocamento considerado foi medido através da média dos dois transdutores.

A resistência à compressão e o módulo de elasticidade considerados foram de 64 MPa e 28,08 GPa aos 28 dias, respectivamente. Para obtenção do índice de vazios foram realizados ensaios conforme a ASTM C642 (2013) e a argamassa apresentou um volume médio de vazios de 20% ao longo de 60 dias para as amostras estudadas. A evolução da resistência à compressão e o módulo de elasticidade das argamassas podem ser vistos no gráfico da Figura 1.

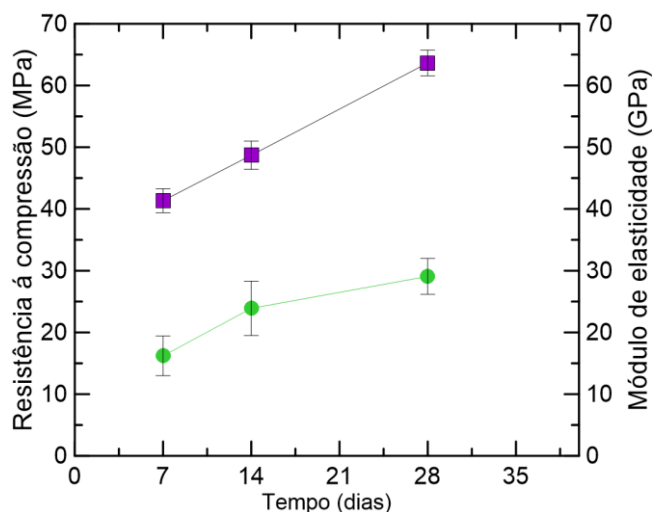


Figura 1 - Resistência à compressão vs Módulo de elasticidade vs tempo da argamassa.

Procedimentos e testes

ASTM C5112

O ensaio de fluência à compressão consistiu na aplicação de 30% da resistência à compressão do corpo de prova aos 28 dias. O período de aplicação dessa carga foi de 40 dias. No total, 3 amostras da argamassa foram moldadas e ensaiadas. Os ensaios foram realizados em sala com temperatura e umidade relativa controlada de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$, respectivamente. Para a avaliação da deformação devido à fluência foi utilizada a norma ASTM C512 (2010). Esta norma é definida para análise de deformação por fluência em corpos de prova de concreto. No entanto, devido à falta de normas estabelecidas para esse tipo de ensaio em argamassas, optou-se por seguir as recomendações da norma fazendo as devidas adaptações. O arranjo utilizado é mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Pórtico utilizado para o ensaio de fluência a compressão em amostras cilíndricas.

Um pórtico foi utilizado para o ensaio, posicionando três corpos de prova alinhados um em cima do outro. Um disco de aço de 10 mm de espessura e 60 mm de diâmetro foi inserido entre as amostras para transferência de tensões. Uma célula de carga com capacidade de 5 toneladas foi posicionada abaixo da rótula, para leitura da carga aplicada. A aplicação da carga foi feita de forma manual por meio do torque aplicado nas rosca na parte superior do pórtico. As amostras foram instrumentadas com dois *strain gauges* do tipo PA-07-201BA-120L, que mediam a deformação em lados opostos. A carga e a deformação foram lidas através do programa de aquisição de dados, *Labview 2011*, e do hardware *Nationals Instruments* modelo NI cDAQ-9172.

Método ACI

O Guia ACI 209R (2008) para modelagem e cálculo da fluência de concretos endurecidos do Comitê Técnico do Instituto Americano de Concreto - ACI foi atualizado em 2008 e trata da previsão de fluência e retração de concretos submetidos à compressão. Esse guia define a deformação total do material seguindo as relações a seguir:

Deformação total = deformação por retração + fun. de flexibilidade x tensão.
Função de flexibilidade = deformação elástica + fluência básica + fluência por secagem.

A função de flexibilidade (J) que representa a deformação total dependente da tensão por unidade de tensão é dada pela Eq. (1).

$$J_{(t,t_0)} = \frac{1 + \phi_{(t,t_0)}}{0,043 \cdot \gamma_c^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ctm_0}}} \quad (1)$$

Onde γ_c é a unidade de peso do concreto em kg/m^3 e f_{ctm_0} é a resistência a compressão média do concreto na idade do carregamento.

O modelo de fluência proposto pelo ACI possui dois componentes que determinam o valor assintótico e o tempo de desenvolvimento da fluência. Os parâmetros de previsão, assim como os outros modelos, não são dados a partir da deformação por fluência, mas pelo coeficiente de fluência ($\phi_{(t,t_0)}$). Assim, podemos calcular o valor de fluência independente da tensão aplicada, como apresentado na Eq. (2).

$$\phi_{(t,t_0)} = \frac{(t - t_0)^\psi}{d + (t - t_0)^\psi} \cdot \phi_u \quad (2)$$

onde $\phi_{(t,t_0)}$ é o coeficiente de fluência do material na idade t devido a aplicação da carga na idade t_0 , d e ψ são considerados constantes para determinado formato e tamanho das amostras que são definidos pela razão da taxa de variação no tempo. E $(t-t_0)$ é o tempo decorrido desde a aplicação da carga e ϕ_u é o coeficiente de fluência último. Para d e ψ , o ACI recomenda os valores médios de 10 e 0,6, respectivamente. Para as condições normais, e na ausência de dados de fluência específicos para agregados e condições locais, o valor médio proposto para o coeficiente de fluência último é de 2,35. Já para condições diferentes das condições normais, o valor de ϕ_u precisa ser modificado por fatores de correção, conforme mostrado na Eq. (3).

$$\phi_u = 2,35 \cdot \gamma_c \quad (3)$$

Sendo $\gamma_c = \gamma_{c,t_0} \cdot \gamma_{c,RH} \cdot \gamma_{c,vs} \cdot \gamma_{c,S} \cdot \gamma_{c,\psi} \cdot \gamma_{c,\alpha}$. Onde γ_c representa o produto acumulativo dos fatores de correção aplicáveis, definidos como segue:



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Para aplicação de carga maior que 7 dias em cura úmida, o fator de idade de carregamento para fluência $\gamma_{c,t0}$ é estimado através da Eq. (4).

$$\gamma_{c,t0} = 1,25 \cdot t_0^{-1,118} \quad (4)$$

O fator de umidade relativa $\gamma_{c,RH}$ é dado pela Eq. (5).

$$\gamma_{c,RH} = 1,27 - 0,67 \cdot h, \text{ para } h \geq 0,4 \quad (5)$$

O coeficiente $\gamma_{c,vs}$ permite estimar o tamanho da amostra em termos da relação volume/superfície através da Eq. (6), mostrada a seguir.

$$\gamma_{c,vs} = \frac{2}{3} \cdot \left[1 + 1,13 \cdot e^{\left(-0,0213 \cdot \left(\frac{V}{S}\right)\right)} \right] \quad (6)$$

Onde V é o volume da amostra em mm^3 e S é a superfície da amostra em mm^2 . Para o volume/superfície igual a 12,5 usar o valor de $\gamma_{c,d}$ igual a 1,3. Durante o primeiro ano, $\gamma_{c,d}$ é dado pela Eq. (7).

$$\gamma_{c,d} = 1,14 - 0,00092 \cdot d \quad (7)$$

Os fatores de correção que consideram a composição do material são:

Para o fator de slump $\gamma_{c,s}$ onde s é o *Slump* do material no estado fresco, deve-se seguir a Eq. (8).

$$\gamma_{c,s} = 0,82 + 0,00264 \cdot s \quad (8)$$

Para o fator de agregados miúdos $\gamma_{c,\psi}$ é a relação de agregado miúdo pelo volume total de agregados expresso em porcentagem, conforme mostrado na Eq. (9).

$$\gamma_{c,\psi} = 0,88 + 0,0024 \cdot \psi \quad (9)$$

Por fim, o coeficiente de ar incorporado $\gamma_{c,\alpha}$ é dado pela Eq. (10), a seguir, onde α é o conteúdo de ar incorporado em porcentagem.

$$\gamma_{c,\alpha} = 0,46 + 0,09 \cdot \alpha \geq 1 \quad (10)$$

Modelo NBR 6118 (2014)

O modelo descrito na norma brasileira NBR 6118 (2014) divide a deformação por fluência do material dado pela equação a seguir em duas partes, sendo a primeira chamada de fluência rápida (irreversível) e a segunda fluência lenta (reversível e irreversível), como apresentado na Eq. (11).

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cca} + (\varepsilon_{ccf} + \varepsilon_{ccd}) \quad (11)$$

Assim, o coeficiente de fluência é definido pela Eq. (12).

$$\phi = \phi_a + \phi_f + \phi_d \quad (12)$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Onde ϕ_a é o coeficiente de deformação rápida, ϕ_f é o coeficiente de deformação lenta irreversível e ϕ_d é o coeficiente de deformação lenta reversível, conforme mostrado nas Eq. (13), (14), (15) e (16).

$$\phi_{(t,t_0)} = \phi_a + \phi_{f\infty} \cdot [\beta_{f(t)} - \beta_{f(t_0)}] + \phi_{d\infty} \cdot \left[\frac{t - t_0 + 20}{t - t_0 + 70} \right] \quad (13)$$

$$\beta_{f(t)} = \frac{t^2 + (42 \cdot h^3 - 350 \cdot h^2 + 588 \cdot h + 113) \cdot t + (768 \cdot h^3 - 3060 \cdot h^2 + 3234 \cdot h - 23)}{t^2 + (-200 \cdot h^3 + 13 \cdot h^2 + 1090 \cdot h + 183) \cdot t + (7579 \cdot h^3 - 31916 \cdot h^2 + 35343 \cdot h + 1931)} \quad (14)$$

$$\phi_a = 0,8 \cdot \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right] \quad (15)$$

$$\phi_{f\infty} = (4,45 - 0,035 \cdot U) \cdot \left(\frac{42 + h_{fic}}{20 + h_{fic}} \right) \quad (16)$$

Onde $\phi_{d\infty}$ é o valor final do coeficiente de deformação lenta reversível que é considerado igual a 0,4, h_{fic} é a espessura fictícia da amostra e U é a umidade relativa do ambiente.

Modelo *fib Model Code* (2010)

O Código Modelo CEB-FIB (2010) foi validado para o tipo de concreto comum, para o qual a resistência média à compressão varia entre 20 MPa a 130 MPa e possuindo umidades relativas médias na faixa de 40 a 100% em temperaturas médias de 5°C a 30°C. Dentro das tensões de serviço, com tensão aplicada abaixo de 40% da sua resistência, a fluência é considerada linearmente relacionada à tensão. A expressão recomendada para previsão de deformação de fluência e retração é mostrada na Eq. (17).

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_{c\sigma(t)} + \varepsilon_{cn(t)} \quad (17)$$

Sendo a $\varepsilon_{c\sigma(t)}$ a parcela de deformação dependente da tensão (instantânea e fluência) e a segunda parcela independente da tensão (retração e térmica). A deformação por fluência é calculada seguindo a Eq. (18).

$$\varepsilon_{c\sigma(t,t_0)} = \sigma_{c(t_0)} \cdot \left[\frac{1}{E_{ci}(t_0)} + \frac{\Phi(t,t_0)}{E_{ci}} \right] \quad (18)$$

O coeficiente de fluência é calculado a partir da Eq. (19).

$$\Phi(t,t_0) = \Phi_{bc(t,t_0)} + \Phi_{dc(t,t_0)} \quad (19)$$

Onde $\Phi_{bc(t,t_0)}$ é o coeficiente básico de fluência e $\Phi_{dc(t,t_0)}$ é o coeficiente de fluência por secagem, sendo dado pelas Eq. (20) e (21), respectivamente.

$$\Phi_{bc(t,t_0)} = \frac{1,8}{f_{cm}^{0,7}} \cdot LN \left(\left(\frac{30}{t_{0,adj}} + 0,035 \right)^2 \cdot (t - t_0) + 1 \right) \quad (20)$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

$$\Phi_{dc(t,t_0)} = \frac{412}{f_{cm}^{1,4}} \cdot \frac{1 - \frac{RH}{100}}{\sqrt[3]{0,1 * \frac{h}{100}}} \cdot \frac{1}{0,1 + t_{0,adj}^{0,2}} \quad (21)$$

Onde f_{cm} é a resistência à compressão média aos 28 dias, $t_{0,adj}$ é a idade de carregamento ajustada, RH é a umidade relativa do ambiente e h é o tamanho nominal da amostra, que se dá a partir da razão de duas vezes a área da seção transversal pelo perímetro da amostra em contato com a atmosfera.

Resultados e discussões

Todos os modelos de previsão de fluência apresentam grande complexidade e quantidade de dados de entrada. É pressuposto que quanto maior o número de parâmetros considerados, melhor será a aproximação dos resultados encontrados (KATAKOA, 2010). Contudo, os modelos avaliados tratam de concretos, não considerando modelos para previsão de fluência de argamassas, material cimentício objeto deste trabalho. Além disso, cada modelo segue algumas limitações quanto aos parâmetros do concreto, algumas dessas limitações são enunciadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Limitações dos modelos de previsão de fluência.

Variáveis de entrada	Modelos		
	ACI 209R	fib Model Code	NBR 6118
f_{ck} (MPa)	-	20 a 130	20 a 90
Tensão aplicada (%)	0 – 40	0-40	0 - 50
Consumo de cimento (kg/m ³)	279 a 446	-	300
Tipo de cimento (BR)	I ou III	I, II ou III	OPC
Umidade relativa (%)	40 - 100	40 - 100	40 - 100
Tempo de cura úmida (dias)	≥1	<14	-
Idade (t_0)	≥7	≥1	-

ASTM C512

A Figura 3 mostra o resultado do ensaio de fluência à compressão da argamassa à base de cimento Portland, assim como o carregamento aplicado ao longo do ensaio. É possível observar que a deformação apresentou os estágios de fluência primário, no instante de aplicação do carregamento com uma taxa de deformação decrescente e a fluência secundária, estágio em que a deformação apresenta uma taxa crescente ao longo do tempo.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

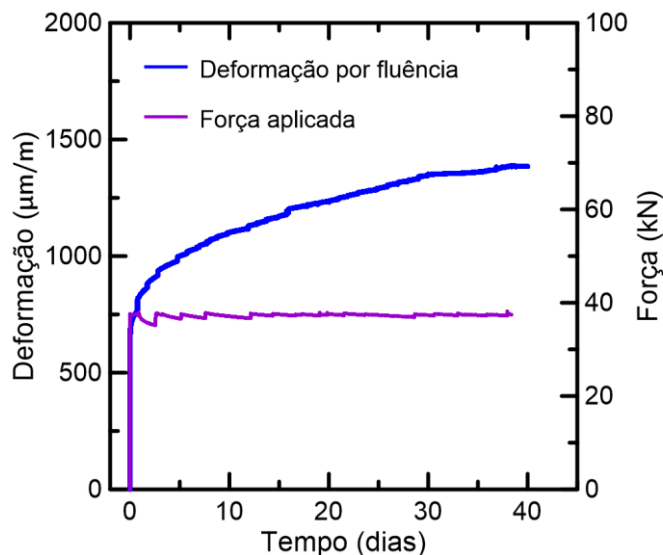


Figura 3 – Deformação por fluência v de argamassa a base de cimento e cinza volante.

As propriedades determinadas por meio do ensaio experimental da ASTM C512 (2010) podem ser vistas na Tabela 3. No ensaio experimental foi medida a deformação por fluência total, ou seja, a deformação por fluência básica e fluência por secagem. A parcela da retração, por sua vez, foi considerada a partir de ensaios de retração por secagem realizados por Silva et al. (2020) que analisaram o mesmo material cimentício e assim um valor de 134,67 μs foram descontados da deformação por fluência resultante.

Tabela 3 – Propriedades obtidas por meio do ensaio experimental e através dos modelos analíticos. Desvio padrão entre parênteses.

Propriedade da argamassa	Experimental	ACI 209R	Model Code	NBR 6118
Deformação instantânea ($\epsilon_{inst,28}$) [μs]	664,83 (13,11)	660,27	660,3	660,3
Deformação por fluência ($\epsilon_{fluência}$) [μs]	719,54 (53,24)	718,58	692,17	550,00
Deformação total ($\epsilon_{inst} + \epsilon_{fluência}$) [μs]	1384,37 (43,22)	1378,89	1352,47	1210,30
Coefficiente de fluência ($\epsilon_{fluência}/\epsilon_{inst}$) [μs]	0,83 (0,08)	1,088	1,048	0,83

A partir dos dados apresentados, pode-se observar que o modelo proposto pelo ACI foi o que melhor representou a deformação por fluência experimental. Já o modelo da NBR 6118 foi o que pior representou essa deformação, com uma variação de -23,6%. Entretanto, a norma brasileira permitiu obter o melhor valor para o coeficiente de fluência entre os modelos estudados, seguido pelo modelo do *CEB fib Model Code* (2010) e ACI 209R (2008).

Modelos de previsão de fluência

Para fins de comparação, podemos observar o gráfico da Figura 4a com a deformação por fluência dos modelos de previsão considerados. Na Figura 4b, pode-se observar os coeficientes de fluência. É possível notar que a deformação instantânea é semelhante para os modelos e para o resultado experimental, considerando a deformação instantânea como a relação entre a tensão aplicada e módulo de elasticidade no momento do



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

carregamento. Além disso, o método de previsão que mais se aproximou do resultado experimental foi o método ACI 209R (2008), seguido do modelo *fib Model Code* e da NBR 6118.

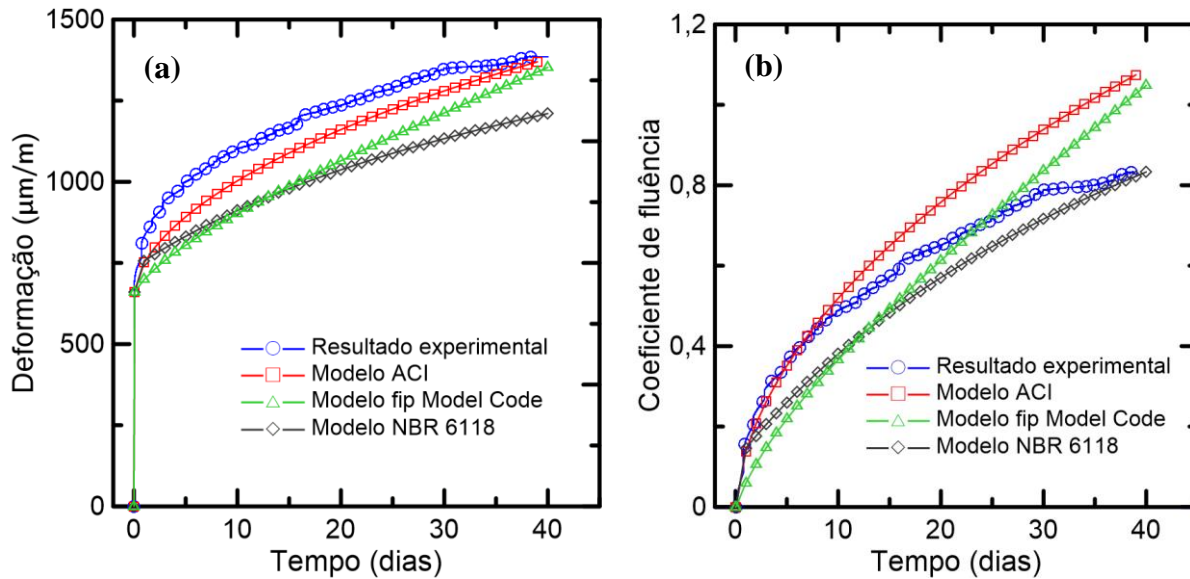


Figura 4 – Comparação das deformações por fluência (a) e coeficientes de fluência (b) obtidas por meio dos modelos de previsão de fluência e experimentalmente pela ASTM C512.

Apesar do modelo proposto pelo ACI se aproximar melhor da deformação por fluência experimental, é necessária uma avaliação mais detalhada e por um período de tempo maior, pois o modelo não considera as proporções dos materiais cimentícios, o tipo, resistência e quantidade dos agregados e fator água cimento nos cálculos, que constituem parâmetros influentes nas propriedades de fluência de materiais cimentícios. Além disso, o valor do coeficiente de fluência resultou em um valor superior aos outros modelos propostos, o que pode ser um fator relevante para o estudo das deformações de maior duração.

É interessante notar que o modelo ACI 209R (2008) além de apresentar uma deformação por fluência próxima ao resultado experimental, o coeficiente de fluência deste método apresentou bons resultados para os primeiros 10 dias de carregamento, enquanto o método apresentado pela NBR 6118 (2014) resultou em um valor final de coeficiente de fluência semelhante para idades mais avançadas. Quando comparamos os coeficientes por fluência, podemos observar um melhor resultado inicial para o modelo ACI 209R (2008). Por outro lado, o modelo indicado pela NBR 6118 (2014) é o que melhor se aproxima do valor final de coeficiente de fluência. A comparação entre os coeficientes de fluência pode ser vista no gráfico da Figura 3.b.

Conclusões

As deformações por fluência obtidas a partir de ensaios experimentais e modelos analíticos de previsão de fluência do ACI 209R (2008), *fib Model Code* (2010) e NBR 6118 (2014) foram comparadas neste trabalho. Foi possível utilizar os modelos de previsão de fluência para analisar a deformação ao longo do tempo de argamassas à base de cimento e comparar com valores obtidos a partir dos ensaios experimentais normatizados pela ASTM C512. Para a deformação por fluência, o método que melhor se aproximou dos resultados experimentais foi o modelo do ACI 209R (2008), seguido pelo *fib Model Code* (2010) e pela NBR 6118 (2014). É importante destacar que os parâmetros utilizados para a previsão das deformações devem ser bem especificados para que melhores resultados possam ser encontrados. Apesar dos modelos serem direcionados para concretos, a aproximação para a deformação de longo prazo para a argamassa estudada se mostrou coerente.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Além das deformações, os parâmetros de previsão de fluência são dados a partir do coeficiente de fluência, responsável pelo cálculo das deformações ao longo do tempo independente da tensão aplicada. A NBR 6118 (2014) foi o modelo que apresentou o resultado concordante ao ensaio experimental, o que pode indicar melhores resultados para deformações por fluência de maior duração.

É importante salientar que as variações dos resultados encontrados podem ser causa de erros de considerações de parâmetros de composição dos materiais e resistência à compressão. Todos os modelos possuem a formulação resistência característica à compressão, com exceção do ACI 209R (2008). A NBR 6118 (2014) é o único modelo que considera a resistência característica do concreto aos 28 dias na previsão da fluência, enquanto os outros modelos consideram a resistência média a compressão aos 28 dias (f_{cm28}). Além disso, os modelos não levam em consideração soluções tecnológicas e comportamento de novos materiais utilizados, o que podem apresentar propriedades mecânicas diferentes das consideradas pelos modelos de previsão. Nesse sentido, se dá a importância de novas atualizações para os modelos e novas pesquisas para caracterização de novos materiais para que sejam utilizados com qualidade e segurança na indústria da construção civil.

Referências

- ACI. ACI 209.2R. Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, EUA, 2008.
- ABNT. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.
- ASTM. ASTM C512: Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. Annual Book of ASTM Standards, EUA, 2010.
- ASTM. ASTM C230: Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement 1. Annual Book of ASTM Standards, EUA, 2010.
- ASTM. ASTM C642-13: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete ASTM C-642. Annual Book of ASTM Standards, EUA, 2013.
- BAZANT, Z. P.; MURPHY, W. P. Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures— model B3. *Matériaux et constructions*, 1995.
- FIB. fib Model Code for Concrete Structures. Ernst & Sohn, 2010.
- KATAKOA, L. T. Estudo Experimental e Numérico da Deformabilidade por Fluência e Sua Utilização na Monitoração de Estruturas de Concreto. São Paulo, Poli-USP, 2010.
- GARSDALE, M. Major countries in worldwide cement production from 2012 to 2017 (in million metric tons), 2019.
- METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, properties, and materials, Mc Graw Hill, 2006.
- SIDOROV, V. N.; NOWAK, K. Substantiation of the use of viscoelastic material model in numerical analysis the creep of concrete structures. IEEE, 2017.
- SILVA JUNIOR, I.; SILVA, F.; SILVA, L. M. Efeito do Metacaulim na Fluência e Retração de Argamassas à Base de Cimento e Cinza Volante. 2020, Florianópolis, IBRACON, 2020.