

Comparação dos modelos de cálculo para previsão das deformações devidas à retração do concreto propostos pela NBR 6118:2014, ACI 209R:2008 e EUROCODE 2:2010

Comparison of calculation models for forecasting deformations due to concrete shrinkage proposed by NBR 6118:2014, ACI 209R:2008 and EUROCODE 2:2010

Pedro Guilherme Campos Batista (1); Maria de Lourdes Teixeira Moreira (2)

(1) *Bacharel em Engenharia Civil, UFPI/CT/Campus Petrônio Portela*

(2) *Professora Doutora, UFPI/CT/DE/Campus Petrônio Portela*

Avenida Jornalista Josípio Lustosa, 6356, Mocambinho 2, Teresina, Piauí; pedro3256985@gmail.com; (86)999106638

Resumo

O concreto é bastante utilizado na construção civil, compreendendo desde elementos mais simples a elementos mais complexos. Levando-se em consideração sua utilização em componentes estruturais, é necessário o conhecimento de suas propriedades e seu comportamento diante das ações às quais está submetido. Nesse contexto, é imprescindível a verificação das deformações ocorridas ao longo do tempo nesses elementos, sendo uma delas a deformação por retração. O processo de endurecimento do concreto ocorre pela hidratação do cimento, sendo que a perda, por diversos meios, da água não envolvida na reação gera esse tipo de deformação. Como forma de garantir segurança e confiabilidade às estruturas é necessária a previsão das deformações para evitar danos, e garantir seu eficiente funcionamento. Dessa forma, neste trabalho foram comparados os modelos de cálculo propostos pela NBR 6118:2014, ACI 209R:208 e EUROCODE 2:2010, para cálculo das deformações por retração em elementos de concreto, utilizando dados de exemplo experimental realizado em corpos de prova e exemplo hipotético. Além disso, realizou-se a variação dos dados de entrada do exemplo hipotético para analisar o comportamento dos resultados em cada norma. Verificou-se, com a aplicação dos dados de exemplo experimental, que os valores obtidos na norma ACI 209R:2010 superam os valores das demais normas, e que esta apresenta valores próximos aos encontrados experimentalmente. Ademais, as variações dos fatores corresponderam aos resultados esperados.

Palavra-Chave: Concreto, Deformação, Retração.

Abstract

Concrete is widely used in civil construction, ranging from simpler elements to more complex elements. Taking into account its use in structural components, it is necessary to know its properties and behavior regarding the actions to which it is submitted. In this context, it is essential to check the deformations that have occurred over time in these elements, one of which is the deformation due to shrinkage. The concrete hardening process occurs by hydrating the cement, and the loss, by various means, of the water not involved in the reaction generates this type of deformation. As a way to guarantee safety and reliability to the structures, it is necessary to predict deformations to avoid damage, and to guarantee their efficient operation. Thus, in this work, the calculation models proposed by NBR 6118: 2014, ACI 209R: 208 and EUROCODE 2: 2010 were compared, for the calculation of the deformations by shrinkage in concrete elements, using data from an experimental example carried out on specimens and hypothetical example. In addition, the hypothetical example input data was varied to analyze the behavior of the results in each standard. It was verified, with the application of the data from the experimental example, that the values obtained in the ACI 209R: 2010 standard exceed the values of the other standards, and that it presents values close to those found experimentally. Furthermore, the variations in the factors corresponded to the expected results.

Keywords: Concrete, Deformation, Shrinkage.

1 Introdução

As deformações no concreto podem ser divididas em dois grupos distintos: as dependentes das condições de tensões da estrutura e as não dependentes. Nas estruturas de concreto, entre as deformações não resultantes do carregamento, existe deformação que lhes é intrínseca, causada pela perda de água, denominada deformação por retração (KATAOKA, 2010).

Segundo Giongo (2007), por conceito, a retração é a redução do volume de concreto, mesmo na ausência de tensões mecânicas impostas ou de variações de temperatura. O efeito físico da retração relaciona-se, principalmente, à perda de água devido à secagem, sendo assim, esse fenômeno é caracterizado como uma propriedade da pasta do cimento, sendo esta condicionada pela grande quantidade de água aplicada na sua fabricação.

A deformação por retração total do concreto é resultante de diversos tipos de retração, que podem acontecer de maneira simultânea no decorrer da vida útil da estrutura. A retração acontece em fases distintas do endurecimento da mistura e sofre influência das restrições oriundas da construção da peça de concreto, o que a impede de acontecer livremente (RODRIGUES, 2010).

Neville (1997) distingue os tipos de retração em: retração plástica, retração autógena, retração hidráulica ou por secagem e retração por carbonatação. A retração plástica ocorre pela perda de água da superfície do concreto por evaporação, e ocorre ainda no seu estado plástico. A autógena resulta da água retirada dos poros capilares no processo de hidratação do cimento ainda não hidratado, sem ocorrer movimento de umidade da pasta ou para ela. A hidráulica (ou por secagem) é gerada pela perda de água do concreto para o ambiente. Por fim, a retração por carbonatação é oriunda da reação de hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ presente no concreto com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera.

O volume e o tipo de agregado influenciam de maneira direta na retração. Nesse aspecto, a presença do agregado na mistura é responsável por exercer uma contenção à retração da pasta de cimento, sendo assim, uma maior proporção de agregado reduz a retração (GILBERT E RANZI, 2011). Além disso, quanto maior a relação água-cimento na dosagem de concreto maior será a retração. Isto é notável, pois essa relação determina a proporção de água evaporável na mistura, bem como a velocidade de deslocamento da água para a superfície do concreto (NEVILLE, 1997).

Ademais, de acordo com Mehta e Monteiro (2008), a retração depende da idade do concreto. Segundo dados experimentais, da retração que ocorre em 20 anos, 20% a 25% sucedem em apenas duas semanas. Sendo 50% a 60% da retração total atingida em 3 meses.

A retração sofre grande influência da umidade relativa do ambiente. Umidades relativas menores definem retrações maiores, e quando o concreto é conservado em água ou umidade relativa 100% ocorre a expansão do concreto. Todavia, a expansão é cerca de quatro vezes menor que a retração ao ar com umidade relativa de 70% e seis vezes menor quando comparada com a retração em umidade relativa de 50% (NEVILLE, 1997). Segundo Gilbert e Ranzi (2011), as dimensões das peças de concreto possuem efeito significativo no processo de retração por secagem. Se o elemento for esbelto, o processo

de secagem estará completo após alguns anos, todavia, uma peça robusta (com dimensões maiores) pode ter seu processo de secagem ao longo de toda a sua vida útil. Nunes e Figueiredo (2007) destacam que a perda de água no concreto é controlada pelo comprimento do percurso realizado pela água expelida no processo de secagem, quanto maior for a área exposta, maior será a perda de água no elemento. Sendo assim, é fundamental a avaliação das características geométricas das peças de concreto para determinar a influência sobre a retração.

As deformações por retração geram alguns efeitos indesejáveis como, por exemplo, fissuras em superfícies externas e esforços não previstos nas estruturas. Assim sendo, a ocorrência de retração pode comprometer desde o aspecto estético à funcionalidade da estrutura (ARAÚJO, 2002). A retração por secagem pode ter valores de deformação finais de 600×10^{-6} mm/mm, e sendo a capacidade de tração do concreto em torno de 150×10^{-6} mm/mm é propício ao desenvolvimento de rachaduras em elementos submetidos a algum tipo de restrição (MATIN, 2011).

Nesse contexto, como forma de previsão dessas deformações e garantia de segurança e confiabilidade de elementos de concretos, especialmente na análise estrutural, diversos países elaboram modelos de cálculo para obtenção de valores finais de retração, considerando diversos fatores ligados à composição da mistura, o meio externo, geometria dos elementos, entre outros. São exemplos desses modelos de cálculos, os apresentados nas normas NBR 6118:2014, ACI 209R:2008 e EUROCODE 2:2010.

Na NBR 6118:2004, norma brasileira, os valores finais de retração calculados a partir do modelo analítico são obtidos levando-se em consideração a área da seção transversal da peça e o perímetro externo em contato com o ar, a umidade relativa do ambiente, abatimento do tronco de cone, temperatura média do ambiente e a idade do concreto.

A ACI 209R:2008, norma americana, determina em seu modelo de cálculo que as deformações por retração são calculadas a partir dos seguintes fatores: volume e área superficial da peça, idade do concreto, umidade relativa do ambiente, abatimento do tronco de cone, proporção de agregado miúdo e graúdo, teor de cimento na mistura e o fator de ar incorporado.

A EUROCODE 2:2010, norma europeia, define como parâmetros de entrada para o cálculo dos valores finais de retração a área da seção transversal e o perímetro externo da peça em contato com o ar, a umidade relativa do ambiente, a idade do concreto, o tipo de cimento e o f_{ck} .

Dessa forma, este trabalho buscou comparar os modelos de cálculo para previsão da deformabilidade por retração no concreto, recomendados pela NBR 6118:2014, ACI 209R:2008 e EUROCODE 2:2010, utilizando dados de resultados experimentais disponíveis na literatura para o cálculo do valor final de retração. Além disso, concebeu-se um exemplo hipotético para o cálculo das deformações segundo cada norma e para variação dos fatores isoladamente como forma de observar como cada um deles influenciava no resultado.

2 Metodologia

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi necessário o cálculo analítico das deformações por retração segundo cada norma abordada. Assim sendo, visando automatizar os cálculos e tornar o processo mais acelerado, foram elaboradas planilhas

de cálculo, concebidas no software Excel, de acordo com os modelos de cálculo preconizados pelos regulamentos estudados.

A partir das planilhas elaboradas segundo cada norma, foram aplicados os resultados experimentais obtidos por Kataoka (2010), com o intuito de calcular as deformações por retração e verificar a variabilidade dos resultados obtidos em cada um dos modelos de cálculo fornecidos pelas normas.

Os ensaios de Kataoka (2010) referentes à retração foram realizados de acordo com a NBR NM 131 (1998) e a ASTM C490 (1997), definindo que as medições fossem feitas a partir do primeiro dia de desmoldagem. A tabela a seguir apresenta os componentes do concreto utilizado nos estudos, apresentando o material e a quantidade.

Tabela 1 – Componentes do concreto utilizados (Kataoka, 2010)

Componentes	Quantidade
Cimento (kg/m ³)	424
Areia de Brita (kg/m ³)	390
Areia de Quartzito (kg/m ³)	315
Brita 0 (kg/m ³)	----
Brita 1 (kg/m ³)	1073
Água (kg/m ³)	174
Aditivo Polifuncional (kg/m ³)	3,607
Fck (MPa)	40
a/c (kg/kg)	0,41
Traço	1:1,66:2,53;0,41

As formas utilizadas no ensaio de retração foram confeccionadas segundo ASTM C490 (1997), pois os corpos de prova possuíam formato prismático 10x10x30cm, e assim sendo, não possui padronização no Brasil.

Além disso, os corpos de provas foram mantidos em câmara climatizada com controle de temperatura e umidade relativa, sendo 23°C e 60%, respectivamente. As medições aconteceram a partir do primeiro dia da desmoldagem e foram realizadas até 154 dias. A desmoldagem ocorreu após 24 horas.

Para os corpos de prova do experimento, foi utilizado concreto com as propriedades indicadas nas tabelas 2 e 3, tratando-se dele fresco e endurecido, respectivamente.

Tabela 2 – Propriedades do concreto fresco (Kataoka, 2010)

Propriedades do Concreto fresco	
Ar aprisionado (%)	1,5
Abatimento (mm)	95
Peso específico (kg/cm ³)	2407

Tabela 3 – Propriedades do concreto endurecido (Kataoka, 2010)

Propriedades Mecânicas do Concreto Endurecido					
IDADE	7	28	63	91	126
Resistência Média à compressão (MPa)	46,7	56,3	58,6	61,4	60,4
Módulo de Elasticidade (GPa)	29,8	33,2	32,6	32,9	34,3

A partir dos resultados experimentais, foram calculados os valores de dispersão, e assim, foi verificada a curva logarítmica que melhor se ajustasse. Segundo os resultados obtidos

experimentalmente, com as medições das deformações por retração no corpo de prova, Kataoka (2010) apresentou a seguinte equação:

$$y = 91,964 \ln(x) + 162,34 \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

y é a deformação de retração por secagem;

x é o tempo considerado, em dias.

A verificação da variabilidade dos resultados foi realizada a partir da criação de gráficos com os valores da deformação variando em função do tempo. Os gráficos foram gerados a partir de ferramentas do software Excel, e proporcionaram uma melhor visualização dos resultados.

Ademais, foi criado um exemplo hipotético com todos os dados de entrada necessários para o cálculo das deformações por retração segundo cada norma. Foi concebida uma viga biapoiada com vão de 2 metros e seção transversal retangular de 15 por 40 centímetros, sendo as áreas laterais e inferior expostas. Assim, foram admitidas as seguintes características:

- Áreas laterais da viga e a face inferior expostas;
- Umidade relativa: 50%;
- Tipo de cimento: endurecimento normal;
- Início da retração por secagem aos 7 dias;
- Abatimento do tronco de cone: 80 mm;
- Resistência a compressão característica aos 28 dias: 25 MPa;
- Temperatura média do ensaio: 25 °C;
- Proporção de agregado miúdo: 45 %;
- Porcentagem de ar aprisionado: 7 %;
- Teor de cimento: 400 kg/m³.

Os dados de entrada do exemplo teórico são informações relevantes para o cálculo das deformações por retração. Esses dados sofreram alterações para se verificar a influência das diferentes variáveis sobre os valores finais de retração segundo cada norma.

Dessa forma, foram atribuídos valores distintos para cada um desses dados e observado como o resultado final varia de acordo com a alteração dos valores de um dos dados de entrada, quando mantidos os valores fixos do exemplo teórico para as demais variáveis. Assim, foram alterados os valores das seguintes informações:

- Seção do elemento;
- Umidade relativa;
- Abatimento do tronco de cone;
- Temperatura;
- Resistência característica à compressão aos 28 dias;
- Porcentagem do agregado miúdo;
- Teor de cimento;
- Fator de ar incorporado.

Com os dados obtidos foram elaborados gráficos utilizando o Excel para melhor visualização e compreensão dos resultados.

3 Resultados e discussões

Os valores de deformação por retração, calculados a partir do exemplo experimental segundo cada norma estão apresentados na tabela 4, assim como os valores obtidos com uso da equação representativa dos dados experimentais obtidos por Kataoka (2010).

Tabela 4 – Deformações por retração a partir dos dados experimentais

Deformações por retração				
Tempo	NBR	EUROCODE	ACI	KATAOKA
0				
7	0,0000000	-0,0000308	0,0000000	-0,0003412
10	-0,0000301	-0,0000431	-0,0000591	-0,0003740
20	-0,0000986	-0,0000766	-0,0002029	-0,0004378
30	-0,0001453	-0,0001035	-0,0002973	-0,0004751
40	-0,0001806	-0,0001263	-0,0003641	-0,0005015
50	-0,0002085	-0,0001461	-0,0004138	-0,0005221
60	-0,0002312	-0,0001635	-0,0004522	-0,0005388
70	-0,0002501	-0,0001790	-0,0004828	-0,0005530
80	-0,0002661	-0,0001929	-0,0005078	-0,0005653
90	-0,0002798	-0,0002055	-0,0005285	-0,0005761
100	-0,0002916	-0,0002168	-0,0005459	-0,000585
110	-0,0003020	-0,0002272	-0,0005609	-0,0005946
120	-0,0003112	-0,0002368	-0,0005739	-0,0006026
130	-0,0003194	-0,0002455	-0,0005852	-0,0006099
140	-0,0003267	-0,0002536	-0,0005951	-0,0006167
150	-0,0003333	-0,0002612	-0,0006040	-0,0006231
160	-0,0003392	-0,0002681	-0,0006119	-0,0006290
170	-0,0003447	-0,0002746	-0,0006190	-0,0006346
180	-0,0003496	-0,0002807	-0,0006254	-0,0006399
190	-0,0003542	-0,0002864	-0,0006313	-0,0006448
200	-0,0003583	-0,0002917	-0,0006366	-0,0006495

Os valores de deformações tabelados, anteriormente, são representados graficamente na figura 4.

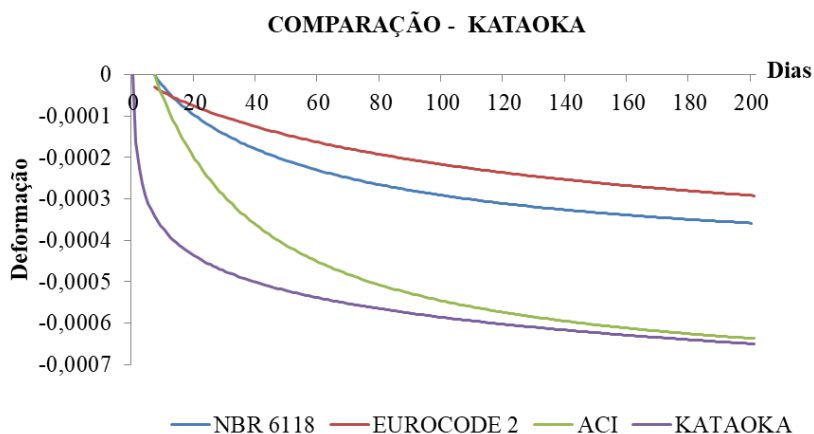


Figura 1 – Representação gráfica das deformações por retração – exemplo experimentais de Kataoka

Afere-se, pelos resultados acima, que os valores de deformação por retração obtidos pelo modelo de cálculo da norma americana ultrapassam, consideravelmente, os valores obtidos nas normas brasileira e europeia. Além disso, o modelo americano é o que mais se aproxima da curva obtida a partir dos resultados experimentais. Nessa perspectiva, o percentual de erro da norma americana se aproxima de 0% no período considerado, a norma brasileira apresenta pouco mais de 40% de erro, enquanto a norma europeia se aproxima de 60%.

3.1 Comparação dos resultados obtidos no exemplo teórico

A partir de exemplo teórico com dados de entrada previamente escolhidos para a análise das deformações, verificou-se a influência da alteração de alguns desses fatores sobre o valor final das deformações por retração.

Nesse contexto, os fatores alterados foram: seção geométrica da viga e umidade (dados de entrada comuns às três normas), e abatimento do tronco de cone (comum às normas brasileira e europeia). Além disso, foram alterados fatores como: temperatura e o tipo de cimento para análise da variabilidade da retração na norma europeia e a porcentagem de agregado, teor de cimento e o fator de incorporação de ar para a análise da variabilidade na norma americana.

Os dados do exemplo teórico foram aplicados nas planilhas de cada norma. Os resultados obtidos em cada planilha, representadas nas figuras 1, 2 e 3 estão apresentados graficamente na figura 5.

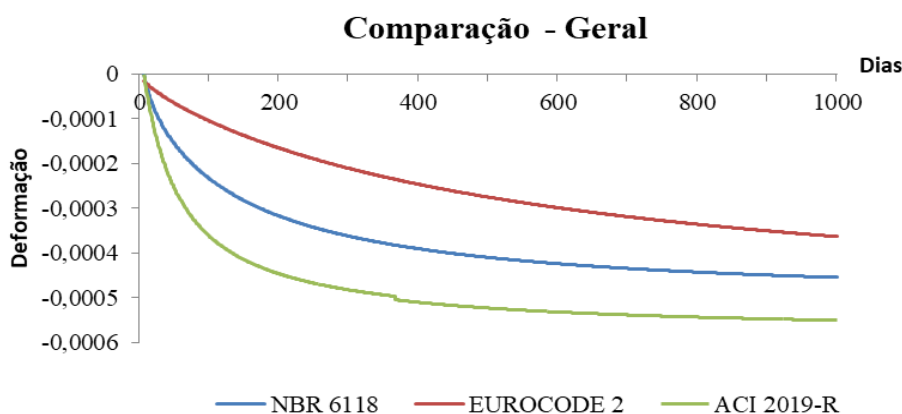


Figura 2 – Representação gráfica das deformações por retração – exemplo teórico

Verifica-se, diante destes resultados, que os valores obtidos a partir do modelo de cálculo da norma americana superam os das normas brasileira e europeia. Além disso, no período representado graficamente, nenhuma das normas apresenta, entre si, aproximação considerável dos seus valores de deformação por retração para consideração de coincidência de resultados.

Ao analisar os valores finais de deformação por retração, observa-se que segundo os resultados obtidos pela norma brasileira em relação aos resultados da norma europeia, ocorre um aumento de 25,14%, enquanto os valores da norma americana superam os valores da norma brasileira em 21,04%. Além disso, no valor final de retração da norma

européia para a americana, ocorre um aumento de 51,5%, ou seja, pouco mais do dobro quando comparado com o aumento em relação à brasileira.

3.2 Variação da seção da viga

A partir dos dados hipotéticos, foi alterada a seção da viga, variando a altura da seção e aplicando os valores de 15x30 cm, 15x50 cm e 15x70 cm. As figuras 6, 7 e 8, apresentam os resultados obtidos com a variação da seção geométrica do elemento em cada uma das normas.

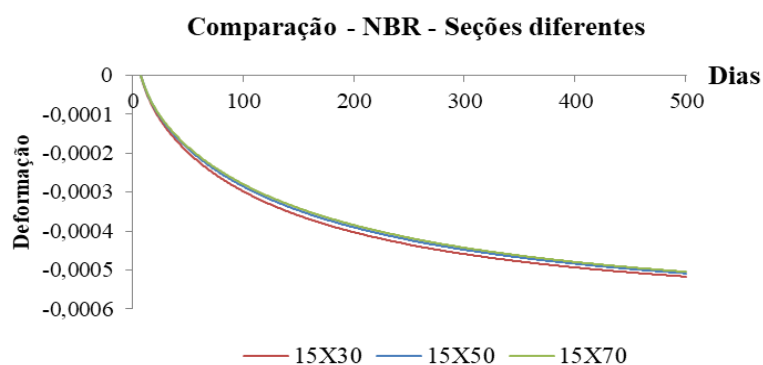


Figura 3 – Variação da seção geométrica na norma brasileira

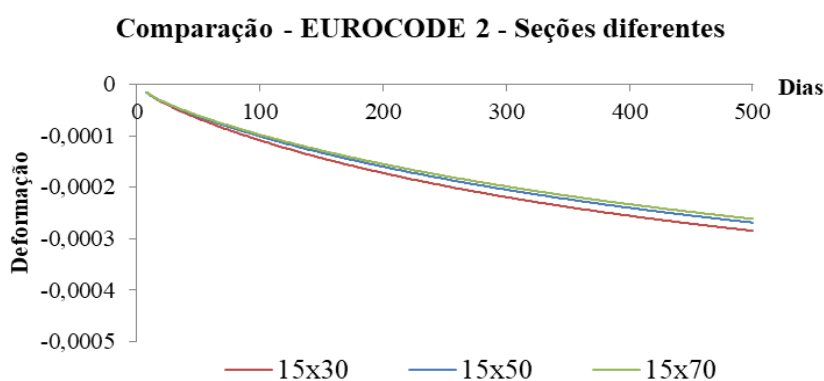


Figura 4 – Variação da seção geométrica na norma europeia

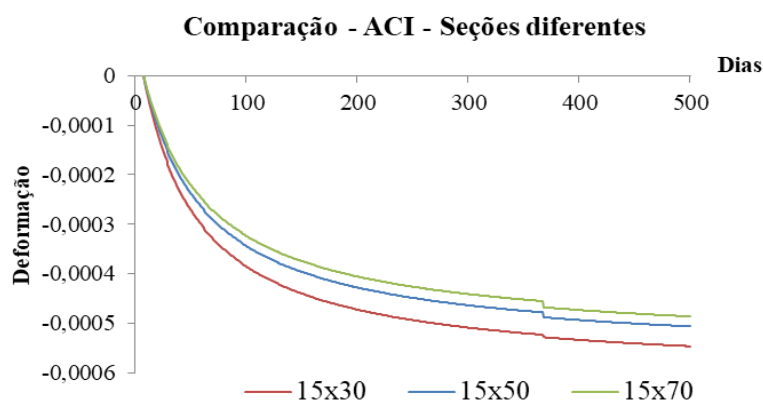


Figura 5 – Variação da seção geométrica na norma americana

Observa-se pelos resultados, apresentados graficamente, que à medida que se aumenta a altura da seção, as deformações por retração diminuem em cada norma. Isso se dá pelo fato de que o aumento da altura da seção faz com que cresça a espessura fictícia da peça segundo o modelo brasileiro e europeu, e o aumento da espessura fictícia faz com que os valores da deformação por retração diminuam.

Além disso, o modelo americano apresenta a relação volume-superfície. Nesse contexto, quanto maior a altura da seção, maior será essa relação, pois o volume aumentará em uma proporção maior que a área da superfície da peça. Pelo modelo americano, quanto maior essa relação, menor será o fator de retração, gerando assim valores de retração finais menores.

Diante dos resultados representados graficamente, é perceptível que a norma americana apresenta a maior variação dos resultados de deformação a partir da mudança da seção da viga do exemplo hipotético, utilizando os valores em planilha é possível observar que a variação da seção 15x30 para a seção 15x50, ocorre uma redução de 7,32%. E da seção 15x50 para 15x70, tem-se uma redução de 3,98%.

Observa-se, ainda, na ACI, um desnível no gráfico da deformação entre 300 e 400 dias (Figura 8). Isso se deve ao fato de que nessa norma o fator de retração ($\gamma_{sh,d}$) apresenta uma condição de cálculo que depende da quantidade de dias do concreto, sendo utilizada uma equação com valores maiores quando a idade é acima de 1 ano (365 dias). Assim sendo, devido a essa condição, em todas as análises seguintes baseadas no modelo americano ocorrerá um desnível nesse período correspondente à idade de 1 ano do concreto.

3.3 Variação da umidade

Alterou-se o valor da umidade para análise da influência desta nos resultados de deformação por retração. Foram considerados três valores para a umidade: 40%, 60% e 80%. As figuras 9, 10 e 11 apresentam os resultados dessa variação nas normas brasileira, europeia e americana, respectivamente.

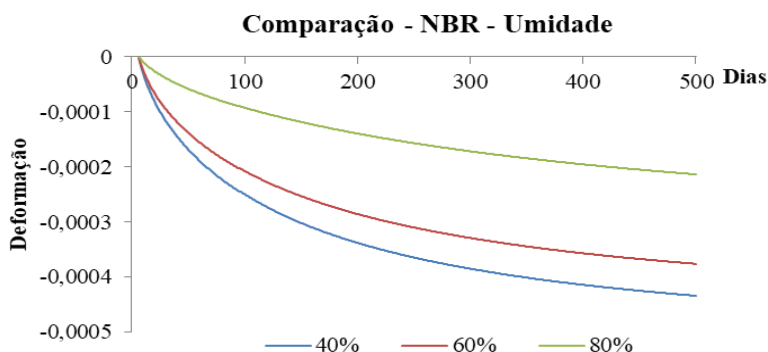


Figura 6 – Variação da umidade na norma brasileira

Comparação - EUROCODE - Umidade

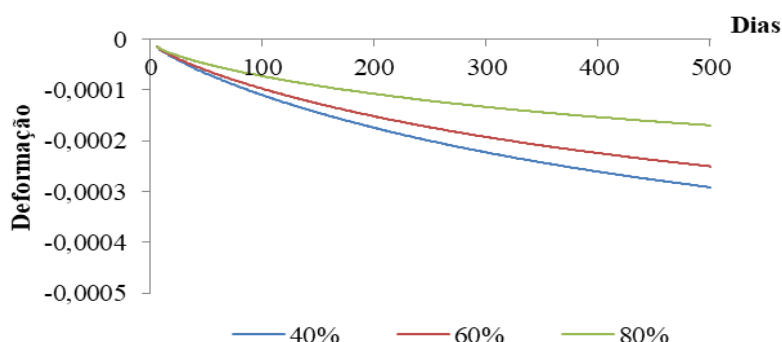


Figura 7 – Variação da umidade na norma europeia

Comparação - ACI - Umidade

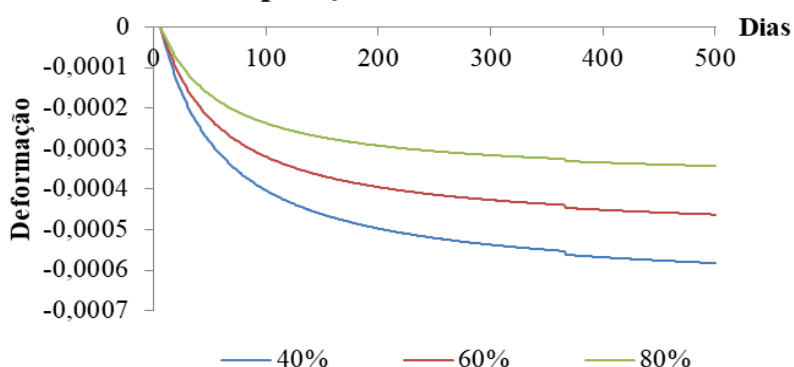


Figura 8 – Variação da umidade na norma americana

As três normas apresentam variações consideráveis nos valores de deformação por retração quando é alterado o valor da umidade do ambiente. Observa-se, pelos três casos, que à medida que a umidade relativa se aproxima de 100%, o valor da deformação por retração vai ficando menor.

Nota-se que as deformações na norma brasileira e europeia variam em proporções diferentes. Sendo que na primeira alteração de 40% para 60% a variação que ocorre nos valores de retração é menor que na segunda alteração, de 60% para 80%. Diferentemente, na norma americana as variações são aproximadas. A tabela 5 apresenta a porcentagem de redução dos valores de retração quando submetidos a variação da umidade.

Tabela 5 – Porcentagem de redução dos valores de retração com a variação da umidade

	VARIAÇÃO DA UMIDADE	
	40% a 60%	60% a 80%
NBR 6118:2014	13,37%	43,33%
EUROCODE 2:2010	14,18%	32,26%
ACI 209R:2008	20,56%	25,89%

3.4 Variação do abatimento do tronco de cone

Foram alterados os valores do abatimento do tronco de cone para análise da influência deste nos resultados de deformação por retração. Foram considerados três valores: 40mm, 80mm e 120 mm. As figuras 12 e 13 mostram graficamente os resultados obtidos para a norma brasileira e norma americana, neste caso a norma europeia não apresenta este fator como parâmetro de entrada no cálculo da retração.

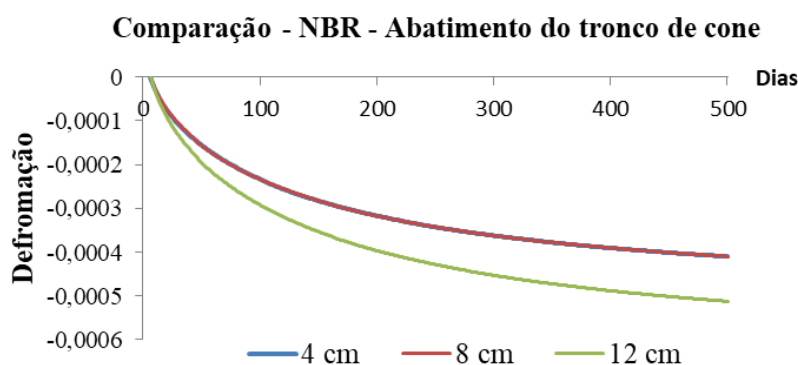


Figura 9 – Variação do abatimento do tronco de cone na norma brasileira

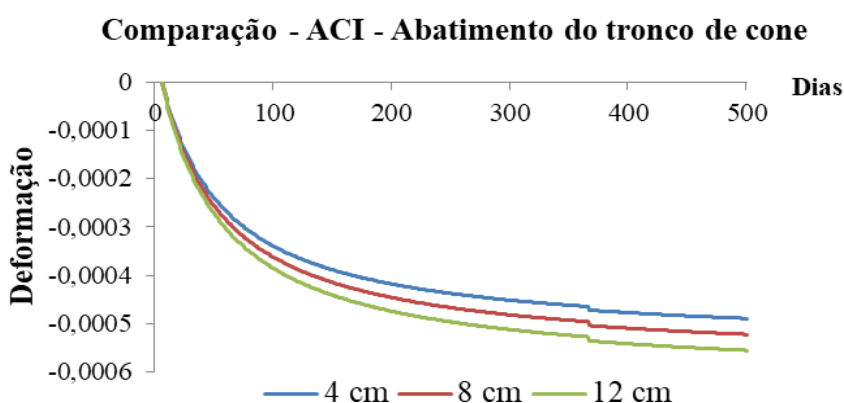


Figura 10 – Variação do abatimento do tronco de cone na norma americana

A norma brasileira especifica intervalos de abatimento do tronco de cone para o cálculo das deformações por retração. Para valores entre 0 e 4 cm e para valores entre 10 e 15 cm é 25% menor e 25% maior, respectivamente, o valor final do coeficiente de retração dependente da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto. Dessa forma, ao considerar-se 4 cm e 8 cm como dados de entrada na planilha, os valores de deformação serão iguais por estarem entre os dois intervalos citados anteriormente. Todavia, quando se admite abatimento de 12 cm como dado de entrada, o coeficiente de retração é majorado 25%, provocando uma variação significativa no valor da deformação. Observa-se na norma americana, uma maior sensibilidade à variação do abatimento do concreto, apresentando uma aproximação das variações dos valores de retração ao alterar-se o abatimento de 4 cm para 8 cm, e de 8 cm para 12 cm. Ao analisar os valores finais de retração no intervalo considerado, nota-se que para essas mudanças, as variações percentuais são, respectivamente: um aumento de 6,75% e um aumento de 6,32%.

3.5 Variação da temperatura na norma brasileira

A temperatura é variável de entrada para o cálculo da retração apenas na norma brasileira. Dessa forma, foi alterada a temperatura para verificar como a deformação por retração varia em função dessas alterações.

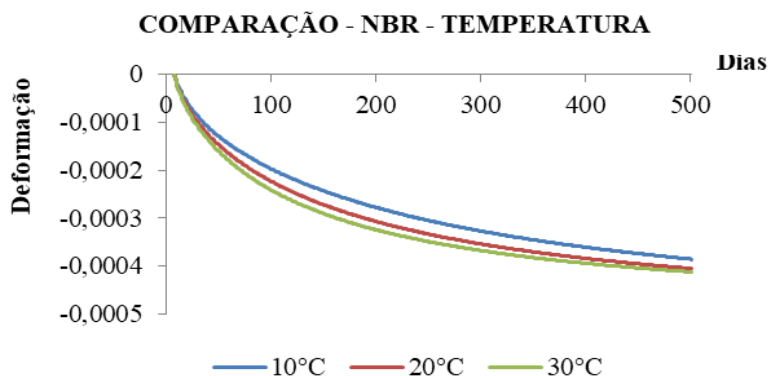


Figura 11 – Variação do abatimento do tronco de cone na norma americana

Observa-se que as deformações por retração crescem à medida que a temperatura aumenta. A alteração de 10°C para 20°C provoca um aumento de 5,1% no valor da deformação final, e para a alteração de 20°C para 30°C tem-se um aumento de 1,77%. Dessa forma, nota-se que quanto menor a temperatura, maiores serão as reduções nos valores de retração.

3.6 Variação do tipo de cimento e do fck na norma europeia

O tipo de cimento e o fck são parâmetros de entrada da norma europeia. Nesse contexto, foram variados esses dados com o intuito de observar como os resultados alteram-se em função deles. Vale ressaltar, que o tipo de cimento é parâmetro de entrada na norma brasileira, todavia, para todos os tipos de cimento o coeficiente relacionado a esse fator equivale a 1.

Dessa forma, foram considerados três tipos de cimento (endurecimento lento, normal e rápido) e o fck de 20 MPa, 40 MPa e 60 MPa. As figuras 14 e 15 mostram a representação gráfica dos resultados obtidos.

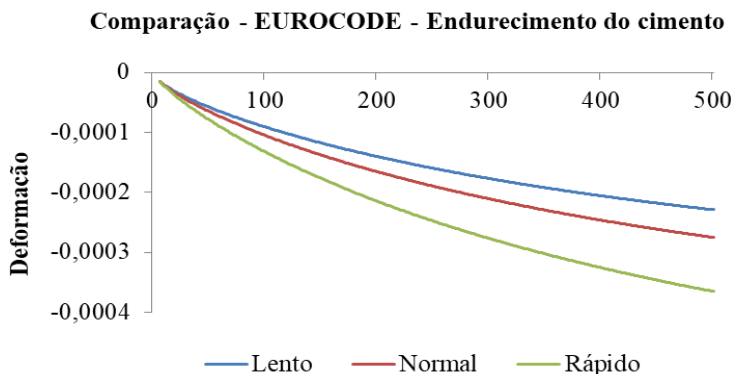


Figura 12 – Variação do tipo de cimento na norma europeia

Comparação - Fck - EUROCODE

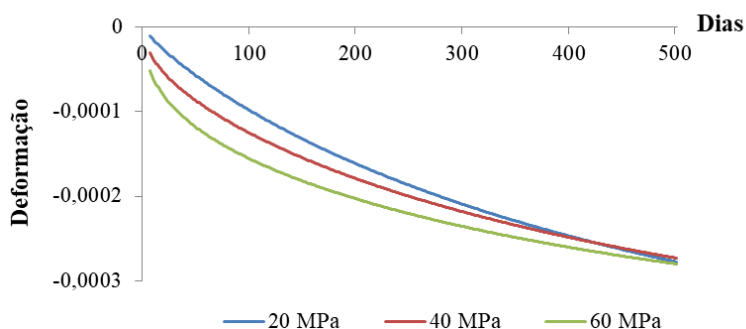


Figura 13 – Variação do fck na norma europeia

Verifica-se que quanto mais rápido o endurecimento do cimento, maior é a deformação por retração final obtida. Nessa perspectiva, a variação ocorre como esperada, pois quanto mais rápido o endurecimento do concreto, maior é o calor de hidratação liberado, propiciando a saída rápida da água e ocasionando maiores deformações. As variações percentuais que ocorrem na alteração do tipo de cimento de endurecimento lento para o normal e do normal para o rápido são, respectivamente: 20,14% e 32,71%.

Ademais, verifica-se nos resultados da variação do fck que nos primeiros dias existe uma diferenciação dos resultados obtidos para valores de fck diferentes. Todavia, com o decorrer do tempo, a diferença entre os valores de deformação por retração diminui e a longo prazo tendem a convergir para valores próximos entre si.

3.7 Variação dos fatores exclusivos da norma americana

A norma americana possui alguns dados de entrada para o cálculo da retração que não são considerados nas normas brasileira e europeia. São eles: a porcentagem de agregado miúdo, o teor de cimento e o teor de ar incorporado.

Sendo assim, foram feitas alterações nesses três fatores com o objetivo de observar a repercussão de tais alterações nos valores das deformações finais por retração. Foram considerados para porcentagem de agregado miúdo os valores de 25%, 35% e 45%, para o teor de cimento os valores de 300 kg/m³, 400 kg/m³ e 500 kg/m³ e para o teor de ar incorporado os valores de 4%, 6% e 8%. As figuras 16, 17 e 18 apresentam os valores obtidos com as alterações descritas anteriormente.

Comparação - ACI - % de agregado miúdo

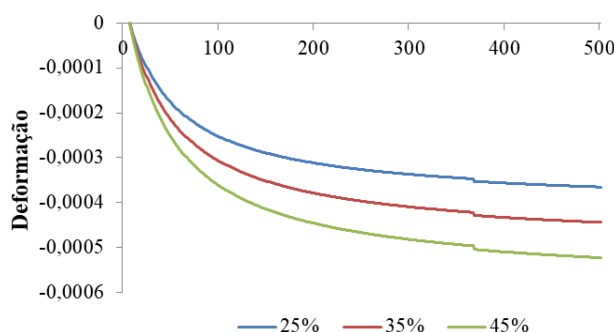


Figura 14 – Variação da porcentagem de agregado miúdo na norma americana

Comparação - ACI - teor de cimento

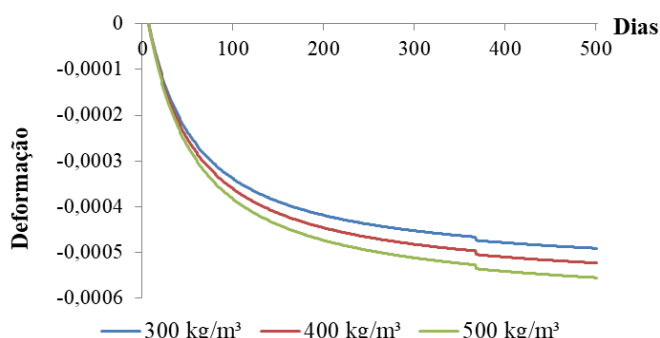


Figura 15 – Variação do teor de cimento na norma americana

Comparação - ACI - Ar incorporado

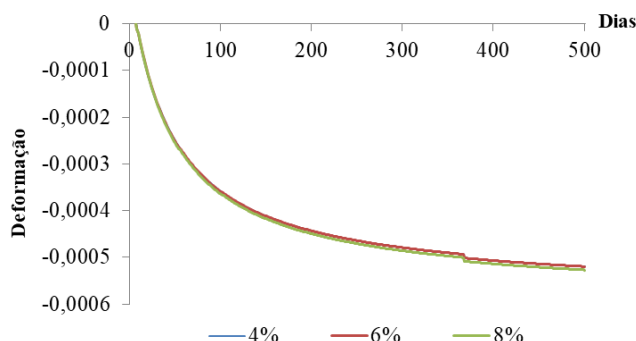


Figura 16 – Variação do fator de ar incorporado na norma americana

Verifica-se que à medida que se aumentam os três fatores, a deformação aumenta com todos eles. Os gráficos apresentam resultados esperados, pois quanto maior a proporção de agregado miúdo, menor a proporção de agregados graúdos, que são responsáveis pela estabilidade dimensional do concreto e, portanto, por reduzir as deformações por retração. Além disso, quanto maior a quantidade de cimento no concreto, maiores serão as deformações por retração.

Nota-se que as variações de 25% para 35% e de 35% para 45% são relativamente aproximadas. Ademais, observa-se que essas variações geradas pela alteração da porcentagem de agregado miúdo são significativas, sendo respectivamente um aumento de 21,53% e 17,72%.

As variações resultantes da alteração do teor de cimento são inferiores às da alteração da porcentagem de agregado miúdo. Para as mudanças de 300 kg/m³ para 400 kg/m³ e de 400 kg/m³ para 500 kg/m³ a variação percentual foi de 6,54% e de 6,14%, respectivamente.

Dessa forma, sendo esses fatores dados de entrada exclusivos da norma americana, para que os valores de retração finais se aproximem dos valores obtidos nas normas brasileira e europeia, que são menores, é necessária a redução da porcentagem de agregado miúdo e/ou redução do teor de cimento no concreto.

A alteração do fator de ar incorporado não resulta em variações significativas nos valores finais de deformação por retração na norma americana.

4 Conclusão

Verifica-se, de maneira geral, que os resultados obtidos a partir dos modelos de cálculo das normas, apresentam diferenças significativas. Essas diferenças são mais evidentes na norma americana, que apresenta valores consideravelmente maiores que as normas brasileira e americana. Com resultados obtidos a partir do exemplo teórico, é possível verificar que os resultados das normas apresentam diferenças consideráveis, que ultrapassam 20% de diferença entre si.

Ao considerar os resultados obtidos a partir da aplicação do exemplo experimental de Kataoka (2010), nota-se que com o decorrer do tempo os valores de deformação por retração segundo a norma americana aproximam-se substancialmente dos resultados experimentais obtidos a partir dos corpos de prova, demonstrando ser este modelo o que melhor representou a realidade, para o caso estudado. Este modelo também é o que considera o maior número de variáveis para o cálculo da retração.

Levando-se em conta os fatores que são dados de entrada em pelo menos duas das normas, os fatores que mais influenciam, em ordem decrescente, no valor final da retração quando alterados são: umidade, abatimento do tronco de cone e seção geométrica; Além disso, a variação dos valores de retração, a partir das alterações dos fatores comuns às três normas, no modelo americano supera os valores obtidos pelas normas brasileira e europeia em quase todos os casos.

Sendo a temperatura o único fator exclusivo da norma brasileira, e apresentando variações relativamente pequenas com a sua alteração, a norma brasileira não apresentará um fator exclusivo que propicie a alteração isolada para modificar consideravelmente os valores de retração fornecidos pelo seu modelo de cálculo;

Na norma europeia, o f_{ck} não influencia de maneira significativa os resultados ao longo do tempo, todavia, para alterar consideravelmente os valores finais de retração basta alterar o tipo de endurecimento do cimento, sendo que quanto maior a velocidade de endurecimento, maiores serão as deformações;

A norma americana apresenta a maior quantidade de fatores exclusivos, sendo que todos estes geram variações na deformação, dois deles de maneira significativa e o outro apresentando variações próximas e pequenas. A ordem decrescente de influência desses fatores é: porcentagem de agregado miúdo, teor de cimento e teor de ar incorporado.

5 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE (ACI 209R). **Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures**, 2008.

ARAÚJO, José Milton de. Estruturas de concreto: **modelos de previsão de fluência e da retração do concreto**. Rio Grande: Dunas, 2002, Número 4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014, 170 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 2 – Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules for Building**, Brussels, 2010, 225 p.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

GILBERT, R. I. e RANZI, G., ***Time Dependent Behaviour of Concrete Structures***, 1ed. USA e Canada, Spon Press, 2011. 23p.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais**. São Carlos: USP – EESC – SET, 2007. 65 p.

KATAOKA, Luciana Tiemi. **Análise da deformabilidade por fluência e retração e sua utilização na monitoração de pilares de concreto**. 2010. 228 páginas. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2010.

MATIN, Dylan James. **Temperature and shrinkage cracking in reinforced concrete walls**. 2015. 218 páginas. Tese (doutorado). Ryerson University. Toronto, Ontário, Canadá, 2015.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**, São Paulo, Ibracon, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, N.L.; FIGUEIREDO, A.D. **Retração do Concreto de Cimento Portland**. Boletim Técnico. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006. 59 p.

RODRIGUES, GIANA SOUSA SENA. **Contribuição ao Estudo da Retração e da Fluência e seus Mecanismos de Atuação a Baixas Idades em Concretos Estruturais**. Distrito Federal, 2010. 222 página. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Distrito Federal, 2010.