

As adições cristalinas impermeabilizantes afetam o comportamento da retração plástica do concreto?

R. Gupta*¹, A. Biparva²

*Autor de Contato: guptar@uvic.ca

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172>

Recebido: 14-12-2016 | Aceito: 23-01-2017 | Publicado: 31-01-2017

RESUMO

Este artigo descreve o efeito de aditivos de impermeabilização cristalina na fissuração precoce em concreto. O desempenho de três diferentes tipos destas adições foi comparado com o de controle. Este estudo foi realizado em duas etapas. A fase 1 foi realizada sob as condições especificadas na ASTM e uma fase modificada onde foram utilizadas condições de secagem mais severas do que as descritas na norma de ensaio ASTM. Estas condições modificadas simulam uma cura inadequada em condições extremas de exposição, tal como experimentado pelo concreto em muitas partes do mundo. Os resultados do ensaio indicam que as adições impermeabilizantes podem efetivamente reduzir as fissuras de retração. As possíveis razões para esta vantagem secundária da adição impermeabilizante cristalina também são discutidas neste artigo.

Palavras-chave: fissuração por retração plástica; adições cristalinas impermeabilizantes; relação de redução de fissuras; tempo para a primeira fissura.

Citado como: R. Gupta, A. Biparva (2017). “*As adições cristalinas impermeabilizantes afetam o comportamento da retração plástica do concreto?*”, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 15-24, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172>

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Victoria, Canada.

² Research and Development Department, Kryton International Inc., Vancouver, Canada.

Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida.

Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2017, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2017.

Do crystalline water proofing admixtures affect restrained plastic shrinkage behavior of concrete?

ABSTRACT

This paper describes the effect of crystalline water proofing admixtures on early-age cracking in concrete. The performance of three different types of these admixtures was compared to that of control. This study has been performed in two stages. Stage one was performed under ASTM specified conditions and a modified stage where more severe drying conditions than that described in the ASTM test standard were used. These modified conditions simulated inadequate curing under extreme exposure conditions as experienced by concrete in many parts of the world. The test results indicate that the water proofing admixtures can effectively reduce the early-age shrinkage cracking. The possible reasons for this secondary advantage of crystalline water proofing admixture is also hypothesized in this paper.

Keywords: restrained plastic shrinkage cracking; crystalline water proofing admixtures; crack reduction ratio; time to first crack.

¿Los aditivos de impermeabilización cristalina afectan al comportamiento de retracción plástica restringida del concreto?

RESUMEN

Este artículo describe el efecto de las mezclas cristalinas de impermeabilización sobre el agrietamiento en concreto a temprana edad. El rendimiento de tres tipos diferentes de estos aditivos se comparó con el de control. Este estudio se ha realizado en dos etapas: la primera se realizó bajo condiciones especificadas por ASTM y la segunda fue una modificación de la primera, en la que se usaron condiciones de secado más severas que las descritas en la norma de ensayo ASTM. Estas condiciones modificadas simulaban un curado inadecuado en condiciones extremas de exposición como las experimentadas por el concreto en muchas partes del mundo. Los resultados de la prueba indican que los aditivos de impermeabilización cristalina pueden reducir eficazmente el agrietamiento por retracción a edad temprana. Las posibles razones de esta ventaja secundaria son también supuestas en este trabajo.

Palabras clave: agrietamiento por retracción plástica restringida; mezclas cristalinas de impermeabilización; relación de reducción de grietas; tiempo para la primera grieta.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por cimento em todo o mundo continuou forte na última década, embora tenha havido grandes preocupações sobre as emissões de CO₂ associadas à sua produção. Para tornar o concreto mais sustentável, as medidas recentes que estão sendo tomadas incluem o uso de cimento calcário (recentemente lançado no mercado canadense (Holcim, 2011)), o uso de combustíveis alternativos (Vaccaro, 2006) e o melhor gerenciamento de energia para fornos e o uso de maiores quantidades de SCMs (materiais de cimentação suplementares) em concreto. Uma abordagem complementar para tornar o concreto um material sustentável é aprimorar sua vida útil melhorando sua durabilidade. Um dos principais parâmetros que afeta a durabilidade das estruturas de concreto é a sua permeabilidade. Vários métodos comerciais disponíveis para diminuir a permeabilidade do concreto foram previamente discutidos pelos autores (Biparva & Gupta, 2010). Embora a principal motivação destas adições cristalinas seja tornar o concreto menos permeável ao longo do tempo, é bem sabido que estas adições também modificam as propriedades de envelhecimento precoce do concreto. As adições cristalinas são um dos tipos de adições de redução de permeabilidade (PRAs)

tal como descrito pelo Comitê 212 do American Concrete Institute (ACI). Contrariamente aos materiais hidrofóbicos ou repelentes à água, estes produtos são hidrofílicos, o que os fazem reagir facilmente quando a umidade entra nos poros/fissuras do concreto. Depois de ter esta reação localizada, a adição forma poros de água insolúveis/fissuras que bloqueiam os cristais que criam um concreto de baixa permeabilidade devido ao aumento na densidade dos silicatos hidratados (CSH, produto principal da hidratação do cimento) e uma resistência mais elevada à penetração da água. O componente da matriz que reage é o silicato tri-cálcio (C3S) e a presença de água também é essencial para a reação. Dependendo do promotor cristalino e um precipitado formado a partir de cálcio e moléculas de água, produtos químicos ativos contidos no cimento e areia formam esses produtos.

Como resultado das deposições cristalinas na matriz de concreto, a resistência à pressão da matriz modificada aumenta até 14 bares. Neste trabalho publicado previamente, os autores discutiram as várias vantagens da utilização de adições de impermeabilização cristalina hidrofílica em concreto em relação a outros métodos para tornar o concreto à prova de água. Foi mencionado que, usando impermeabilização cristalina, não só a permeabilidade do concreto pode ser reduzida, mas também outras propriedades tais como autocicatrização e retração serão afetadas. Alguns resultados são resumidos neste artigo publicado, mas uma pesquisa mais focada é necessária para investigar os efeitos de diferentes adições de impermeabilização integral em propriedades-chave, tais como autocicatrização e retração. A maior parte da literatura disponível descreve apenas os efeitos destas adições na permeabilidade do concreto (Geetha & Perumal 2011), mas as propriedades-chave, tais como autocicatrização e retração, ainda não são compreendidas.

O efeito de várias adições, aditivos minerais e fibras na retração plástica restrita tem sido estudado por muitos pesquisadores. Isto inclui o estudo do efeito de adições redutoras de retração (Weiss e Shah, 2002, Lura et al., 2007, Bentur et al., 2001), sílica (Bloom e Bentur, 1995), calcário (Corinaldesi & Moriconi, 2009), cinza volante (Gupta et al., 2010), e fibras (Soroushian et al., 1992, Soroushian & Ravanbakhsh, 1998, Corinaldesi & Moriconi, 2009, Gupta et al, 2010) sobre a retração plástica do concreto. No entanto, uma pesquisa bibliográfica feita pelos autores para identificar o efeito de aditivos de impermeabilização cristalina sobre a retração plástica utilizando o método de ensaio ASTM C1579 não resultou em nenhum artigo. Além disso, também não foram identificados estudos prévios que relatassem o efeito destes aditivos de impermeabilização na redução da retração por secagem. O estudo apresentado neste trabalho foi iniciado devido à falta de compreensão sobre o efeito desses aditivos de impermeabilização sobre o potencial de retração plástica do concreto. A pesquisa foi conduzida de acordo com a ASTM C1579 para estudar o efeito de três tipos diferentes de aditivos sobre a fissuração por retração. As condições de ensaio especificadas na norma foram modificadas para simular condições de cura mais severas as quais o concreto é exposto em muitas partes do mundo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Estudo de dosagem

Para este estudo foi escolhido um traço de controle com uma resistência especificada na prática comumente de 40 MPa. Para estudar o efeito de adições de impermeabilização base cristalina na retração plástica, foram utilizados três produtos comercialmente disponíveis para modificar o traço de controle. As adições reagem quimicamente com a água infiltrada/ umidade nos poros / fissuras do concreto e resulta no crescimento de cristais microscópicos que bloqueiam o fluxo de umidade, tornando o concreto menos permeável. As dosagens recomendadas pelos fabricantes foram utilizadas para modificar o traço de controle. As adições K, P e X foram adicionadas a 2,0%, 0,8% e 1% da massa de cimento, respectivamente, no traço de controle. Para todos os traços foi escolhida uma relação a/c de 0,55. O traço empregado pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Traço empregado

Material	Quantidade (kg/m ³)
cimento Portland	340
Brita	1120
Areia	820
Água	187

2.2. Configurações do ensaio

Os moldes foram utilizados de acordo com a ASTM C 1579-06, para induzir uma fissura ao longo do centro da laje. As lajes possuíam 355 (± 10) mm x 560 (± 10) mm x 100 (± 5) mm e continham uma placa metálica de aumento de tensão, que foi parafusada ao fundo do molde. As placas de aumento de tensão foram utilizadas para induzir uma fissura no concreto nas primeiras idades. Para cada mistura, foram testadas duas amostras na câmara ambiental mostrada na Figura 1.

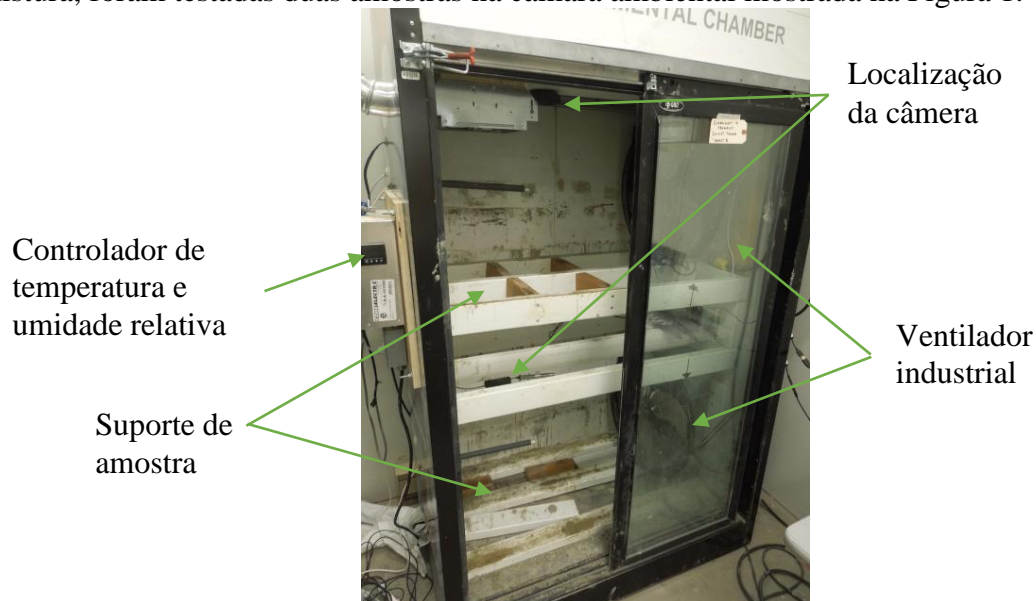


Figura 1. Câmara ambiental instrumentada para a realização de ensaios retração plástica

O ensaio foi realizado seguindo a norma ASTM C1579 em termos de materiais, moldes e condições ambientais especificadas. No entanto, ensaios adicionais utilizando temperaturas mais elevadas e menor umidade foram conduzidos para simular condições mais severas do que aquelas especificadas pela norma de ensaio. De acordo com a norma ASTM, a temperatura deve ser de $36 \pm 3^\circ\text{C}$, a umidade relativa $30 \pm 10\%$ e a velocidade mínima do vento de 4,7 m/s sobre o centro da amostra. A taxa de evaporação medida na câmara ambiental foi superior a 1,0 kg/m²/h que é especificada na norma de ensaio.

2.3. Condições ambientais

As condições da Câmara Ambiental foram reguladas através de um controlador de temperatura e umidade relativa. A temperatura e a umidade relativa foram registadas utilizando um registrador de dados HOBOWare. Um sensor duplo de temperatura e umidade foi colocado acima do centro de cada placa. As leituras foram feitas pelo registrador a cada 10 segundos e os resultados foram plotados usando o software HOBOWare.

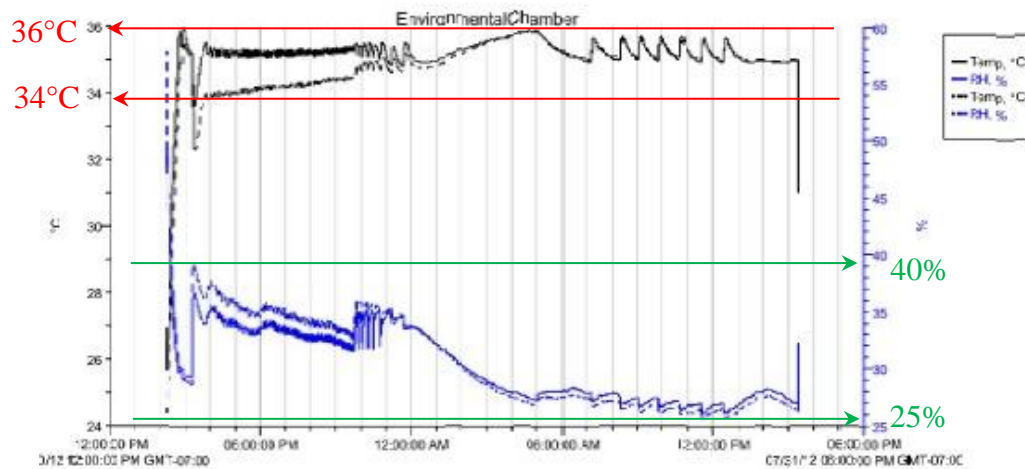


Figura 2. Imagens típicas de temperatura e umidade versus tempo (condições padrão)

O gráfico acima é uma captura de tela dos dados e, portanto, não tem resolução muito alta. No entanto, este gráfico está descrito abaixo para maior clareza. A Figura 2 mostra um período de condicionamento de uma hora quando a temperatura e a umidade relativa são trazidas da temperatura ambiente para condições de ensaio padrão. Isto é indicado pelo primeiro aumento de temperatura e queda na umidade. Mais tarde, há um aumento acentuado na umidade e diminuição da temperatura, o que indica que a laje é colocada na câmara. Poucos minutos após a colocação das amostras, tanto a temperatura como a umidade estabilizam dentro das tolerâncias especificadas na ASTM. As curvas pretas sólidas e tracejadas representam a temperatura na parte superior e inferior da câmara, respectivamente. Do mesmo modo, as duas curvas azuis correspondem aos valores de umidade no topo e no fundo da câmara. Uma vez que as capturas de tela apresentadas aqui têm uma resolução fraca, foram adicionadas linhas vermelhas e linhas verdes para permitir a leitura dos valores de temperatura e umidade superiores e inferiores, respectivamente. O ensaio é conduzido durante 24 horas, logo após a amostra é removida e o tamanho da fissura é medido. Uma vez que as amostras foram colocadas na câmara ambiental, a temperatura estava entre 34°C e 36°C ao longo do ensaio (linhas vermelhas), enquanto a umidade estava dentro de um intervalo apertado de 25-40%. Estes valores estão dentro dos limites permitidos pela ASTM.

2.3.1. *Condição Modificada*

Para estudar o comportamento das misturas testadas anteriormente sob condições de secagem mais severas, as condições na câmara ambiental foram modificadas. Conforme descrito anteriormente, as linhas vermelhas e azuis sólidas foram adicionadas para ler os valores de temperatura e umidade superiores e inferiores, respectivamente, durante as primeiras 8 horas do ensaio. As linhas pontilhadas correspondem às condições modificadas na câmara após as primeiras 8 h.

Como na condição padrão, há um período de condicionamento antes de colocar a laje e um período posterior de recuperação. A condição modificada foi destinada a expor as amostras a condições mais extremas de temperatura e umidade. As condições especificadas pela norma ASTM foram utilizadas nas primeiras 8 horas para simular um dia de trabalho no qual o concreto é monitorado e mantido. Após o período de 8 horas, as condições foram alteradas de modo que a temperatura foi aumentada gradualmente para $46 \pm 1^\circ\text{C}$. Isto resultou na queda da umidade para um gama de 15-27% dentro de 4 horas após estas condições serem impostas. Isto representou aproximadamente um aumento de 30% na temperatura média e um decréscimo de cerca de 25% na umidade. O ensaio sob estas condições também foi conduzido durante 24 horas, após o qual as fissuras foram medidas.

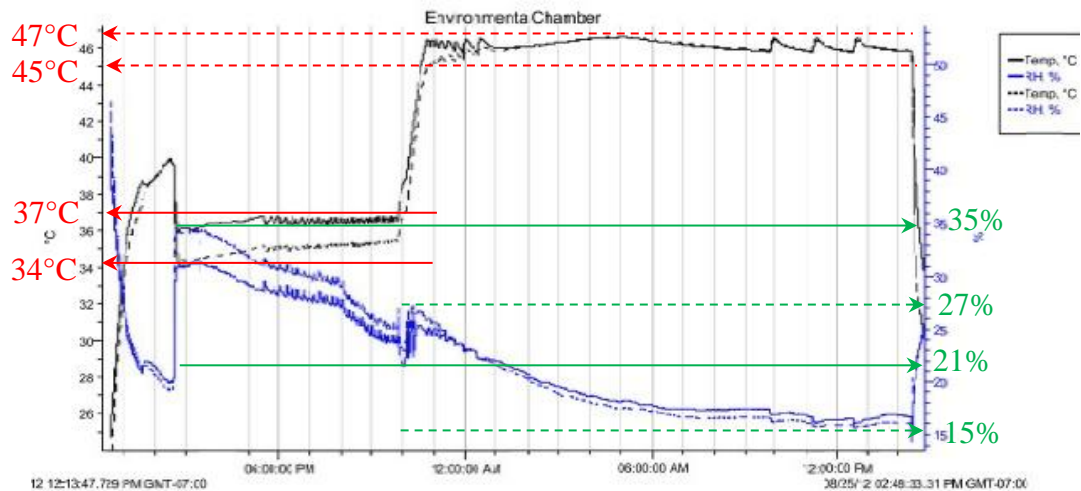


Figura 3. Imagens típicas de temperatura e umidade versus tempo (condições modificadas)

2.4. Tempo para fissurar

Apesar de não ser uma exigência da norma de ensaio, o tempo até a primeira fissura foi medido usando duas câmeras de vídeo HP AutoFocus 720i de alta definição. O vídeo da laje durante o ensaio foi gravado para determinar o tempo de fissuração. Isso eliminou a necessidade de observar manualmente as amostras para fissuração.

3. RESULTADOS

3.1. Largura da fissura

Após 24 horas, as amostras ensaiadas foram removidas da câmara e as fissuras caracterizadas. O tamanho da fissura foi medido utilizando um microscópio óptico portátil a intervalos de 10 mm ao longo do comprimento da fissura. A média de todas as leituras para as duas amostras é apresentada na Tabela 2. Também, está incluída nesta tabela a largura máxima de fissura registrada nas amostras.

Tabela 2. Medidas da largura da fissura

Traço	Largura média da fissura (mm)		Largura máxima da fissura (mm)	
	Condições padrão	Condições modificadas	Condições padrão	Condições modificadas
Controle	0.57	0.50	1.3	1.0
K	0.11	0.22	0.6	0.62
P	0.50	0.45	1.02	0.98
X	0.47	0.62	1.0	1.2

Os resultados na Tabela 2 indicam claramente que a adição K reduz significativamente a largura média de fissuras e as larguras máximas de fissuras quando comparadas com o traço de controle sob condições padrão e modificadas. Da mesma forma, a adição P também apresenta alguma redução na fissuração quando comparada com o traço de controle. Embora a adição X mostrou redução na largura de fissura sob condições padrão, esta se mostrou maior do que a medida para o controle em condições modificadas. Isto indica que algumas adições impermeabilizantes podem ser menos eficazes na redução da fissuração por retração em condições mais quentes e secas.

3.2. Relação de redução de fissuração

A ASTM C1579-06 especifica que uma taxa de redução de fissuras (CRR) pode ser calculada usando a seguinte fórmula:

$$CRR = \left[1 - \frac{\text{Largura média de fissura de concreto modificado}}{\text{Largura média de fissura do concreto de controle}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

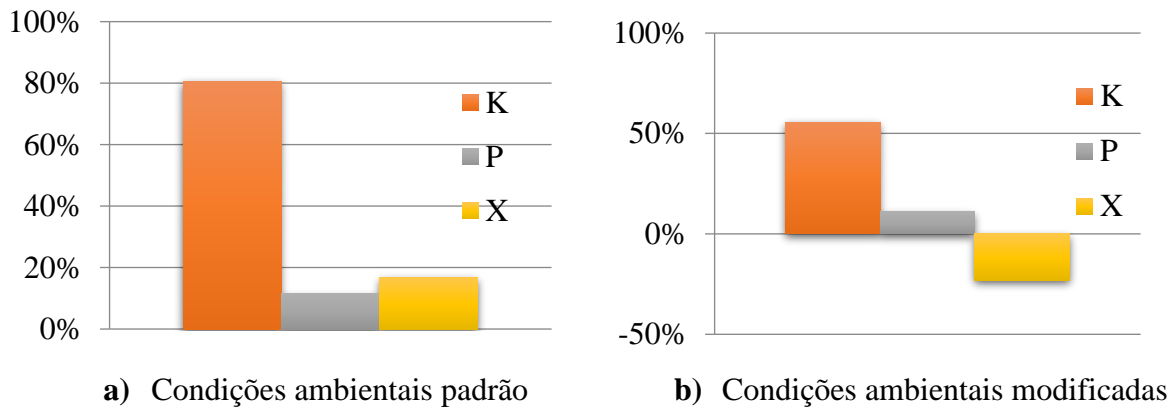


Figura 4. Relação de redução de fissuração sobre o controle

Os gráficos na Figura 4 comparam a razão de redução de fissuras de cada adição quando comparada com a mistura de concreto de controle. É evidente que a mistura K é a mais eficaz na redução da largura da fissura. Quando a adição de K foi adicionada a uma dosagem de 2% sobre a massa de cimento, a razão de redução de fissuração em condições padrão foi de cerca de 80% e que sob condições modificadas era de aproximadamente 55% (mostrado na Figura 5). Em comparação, a dosagem para a adição X foi apenas metade de K, mas isto resultou num CRR de apenas 15% em condições padrão e um CRR negativo superior a -20% em condições modificadas (isto é, aumentando a largura das fissuras). A adição de P a 0,8% sobre a massa de cimento tinha um CRR moderado de cerca de 10% sob ambas as condições ambientais.

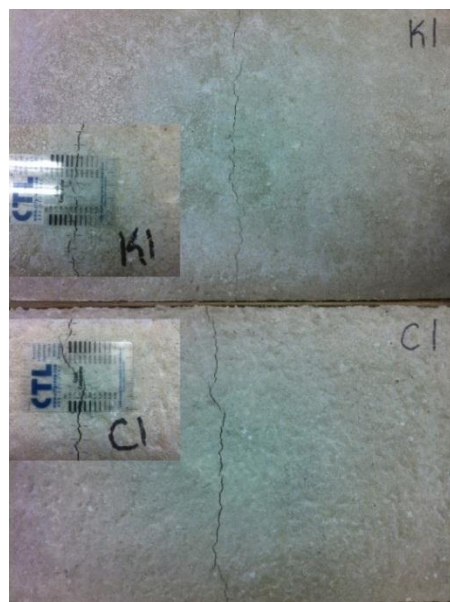


Figura 5. Largura de fissura de Controle (C1) quando comparado com K1 (condições modificadas) - indicando um CRR aproximado de 55%.

3.3. Área de fissuração

Com base nas medidas de largura de fissuras, foram calculadas áreas de fissuras para todas as amostras. As áreas de fissuras médias para condições padrão e modificadas são mostradas nas Figuras 6a e 6b, respectivamente. É evidente a partir das figuras que a área média de fissuras para o controle era superior a 150 mm². Todas as adições reduziram a área de fissura nas condições especificadas pela ASTM e sob condições modificadas. O único ponto discrepante foi o da adição X que mostrou um aumento na fissuração em condições modificadas. Na dosagem especificada, a adição K parece ser a mais eficaz na redução da fissuração induzida por retração.

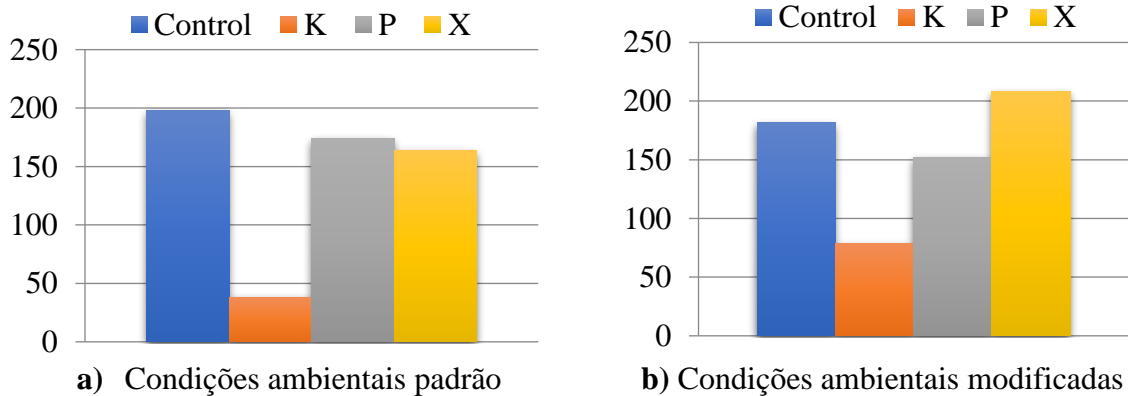


Figura 6. Área média de fissuras (mm²)

3.4. Tempo de fissuração e escopo futuro da pesquisa

As tabelas seguintes listam o tempo que levou para cada laje fissurar. O tempo de fissuração foi observado visualmente a partir de uma gravação de vídeo.

Tabela 3. Tempo medido até a primeira fissura.

Traço	Tempo para a primeira fissura (h:min)	
	Condições padrão	Condições modificadas
Controle	1:21	1:41
K	2:15	2:29
P	1:24	1:49
X	2:16	2:22

O tempo até a primeira fissura para as amostras de controle quando comparado com as misturas com aditivos é o mais baixo sob condições padrão e modificadas. Isto indica que todas as adições retardam a formação da primeira fissura. As adições K e X atrasaram o tempo para a primeira fissura quando comparado ao controle por uma média de aproximadamente 50min considerando condições padrão e modificadas. O atraso no tempo para a primeira fissura devido à adição P quando comparado com o controle era uma média de apenas 5 minutos.

Observa-se também que o tempo até a primeira fissura aumentou sob condições modificadas não apenas para o controle, mas para todas as amostras em uma média de 16 min. Sob condições modificadas, quando a temperatura é maior, a taxa de ganho de resistência seria mais rápida. Um atraso no tempo para a primeira fissura sob condições modificadas para o traço de controle e o traço modificado com a adição P traduzida em fissuras mais estreitas e área de fissura total ligeiramente inferior (consulte a Tabela 2 e a Fig. 6). Contudo, para as adições K e X, foram registradas áreas de fissuras maiores sob condições modificadas. Quando comparado com o controle, a adição K causou o maior atraso no tempo para a primeira fissura e resultou no CRR

mais elevado. Por conseguinte, não podem ser tiradas conclusões conclusivas a partir dos dados disponíveis e mais pesquisas são justificadas para confirmar a relação entre o tempo para a primeira fissura e a fissuração. A influência do traço e das adições, tais como as cinzas volantes sobre a taxa de evaporação, foi descrita num estudo de Banthia e Gupta (Banthia & Gupta, 2009).

Estudos futuros devem se concentrar na medição da taxa de evaporação diretamente das amostras em oposição à medição da evaporação na câmara ambiental. A evaporação da umidade das amostras também é uma função da exsudação, portanto, medir a perda de umidade das amostras diretamente também pode ajudar a capturar o efeito da exsudação. No entanto, o grande tamanho de amostra especificado na ASTM coloca desafios na medição precisa da perda de umidade das amostras. A redução na fissura observada neste estudo pode ser devida a uma taxa mais rápida de ganho de resistência nas primeiras idades. Para confirmar esta hipótese, os estudos futuros devem focar na medição da perda de umidade das amostras e também na medição do aumento simultâneo do ganho de resistência nas primeiras idades do material utilizando amostras de formato de “osso de cachorro”, tal como utilizado num estudo de Gupta (Gupta, 2008).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram examinados os efeitos de adições impermeabilizantes cristalinas sobre a retração plástica em duas condições ambientais, uma especificada pela ASTM C1579 e a outra modificada. Foram utilizados três tipos de adições em concreto de acordo com a dosagem prescrita pelos fabricantes. Em ambas as condições ambientais, as amostras com adições tenderam a resistir à fissuração melhor do que o traço de controle de mesmas proporções. A adição K apresentou uma razão de redução de fissuras de aproximadamente 80% e 55% sob as condições padrão e modificada, respectivamente. Esta diminuição acentuada atesta que a adição K resiste eficazmente à retração plástica. A adição P manteve uma taxa de redução de 10% em ambas as condições ambientais. Finalmente, a adição X mostrou uma pequena diminuição no tamanho da fissura na condição padrão. Entretanto, apresentou um baixo desempenho na condição modificada com maior fissuração do que o traço de controle. Em geral, as adições impermeabilizantes cristalinas comercialmente disponíveis parecem oferecer o benefício secundário de servir como uma adição redutora de retração, especialmente nas primeiras idades.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o envolvimento de vários alunos do BCIT neste projeto ao longo dos últimos anos. A ajuda de Stevan Gavrilovic, Marie Qian e Amrit Basra é muito apreciada.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM Standards, A. S. (2007). ASTM C1579. In ASTM, *ASTM STANDARDS SECTION 4 CONSTRUCTION* (pp. 781-87). Maryland: ASTM C1579.
- Banthia, N., & Gupta, R. (2009). *Plastic shrinkage cracking in cementitious repairs and overlays*. *Materials and Structures*, 42, 567-579.
- Bentur, A., Berke, N. S., Dallaire, M. P., Druning, T. A. (2001). *Crack Mitigation Effects of Shrinkage Reducing Admixtures*. ACI Special Publication (204).
- Biparva, A., & Gupta, R. (2010). *Smart Waterproofing System*. Doha, Qatar: International Conference on Future Concrete.
- Bloom, R, Bentur, A. (1995). *Free and restrained shrinkage of normal and high-strength concretes*. *ACI Materials Journal*, 92(2), 211-217.

- Corinaldesi, V., and Moriconi, G. (2009). *Effect of Different Fibers and Mineral Additions on the Performance of FRSCC*. ACI Special Publication (261).
- Geetha, A., Perumal, P. (2011). *Chemical reaction of waterproofing admixtures on the corrosion behaviour of reinforced cement concrete*. Asian Journal of Chemistry, 23(11), 5145-5148.
- Gupta, R. (2008). *Development, application and early-age monitoring of fiber-reinforced 'crack-free' cement-based overlays*. Doctoral thesis submitted at The University of British Columbia. Vancouver: Faculty of Graduate Studies.
- Gupta, R., Banthia, N., and Dyer, P. (2010). *Field Application and Monitoring of Crack Resistant Fiber-Reinforced Concrete Overlays*. ACI Special Publication (268).
- Holcim Canada ready to deliver portland limestone cement. (2011, Feb 28). *Canada NewsWire*. Retrieved from <http://search.proquest.com.ezproxy.library.uvic.ca/docview/854024570?accountid=14846>
- Lura, P., Pease, B., Mazzotta, G., Rajabipour, F., and Weiss, W. J. (2007) "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Evaporation, Settlement, and Plastic Shrinkage Cracking", American Concrete Institute Materials Journal, Vol. 104, No. 2, pp. 187-194.
- Soroushian, P., Mirza, F., Alhozaimy, A. (1995). Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber-reinforced concrete. *ACI Materials Journal*, 92(5), 553-560.
- Soroushian, P., Ravanbakhsh, S. (1998). *Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers*. ACI Materials Journal, 95(4), 429-435.
- Vaccaro, M. (2006). "Burning alternative fuels in rotary cement kilns," Cement Industry Technical Conference. Conference Record. IEEE, vol., no., pp.10 pp., 9-14 April 2006 doi: 10.1109/CITCON.2006.1635711
- Weiss, W. J. And Shah S. P. (2002). *Restrained shrinkage cracking: the role of shrinkage reducing admixtures and specimen geometry*, Materials and Structures, Volume 35, Number 2, Page 85.