

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 1/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Artigo sobre a fissuração em concretos.

“Vida e Morte do Cimento Tipo II da ASTM ”

The Life and Death of Type II Cement

Observação de Eduardo Thomaz : O cimento ASTM Type II é um cimento Portland sem escória . É semelhante ao cimento ASTM Type I, porém com melhor resistência a sulfatos.

“A resistência, em cubos, aos sete dias, cresceu de 1500 psi (10,4MPa) para 6000psi (42,0 MPa), apesar das intenções iniciais”.

Revista : “Concrete Construction” - Janeiro 2007 Autor: Richard Burrows

Link do texto original : <http://www.concreteconstruction.net/concrete-construction/the-life-and-death-of-type-ii-cement.aspx>

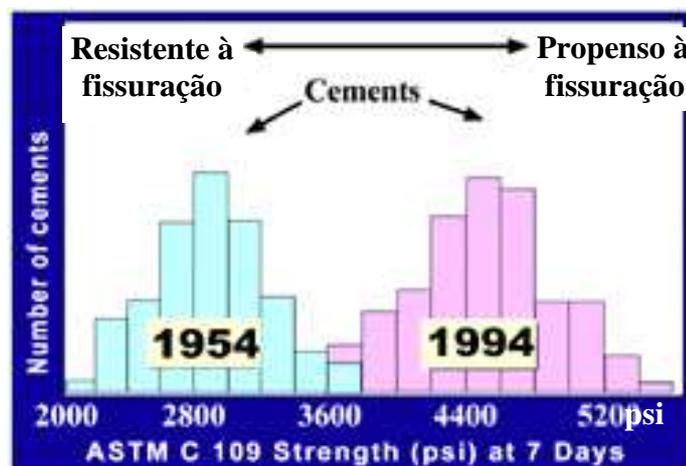


Fig. 1 - A grande mudança nos cimentos Tipo II

O cimento Tipo II nasceu em 1940 com a publicação da “ *Standard Specification for Portland Cement* ”, ASTM C 150.

O pai, Pharon H.Bates, era um brilhante cientista do “*National Bureau of Standards*”.

Bates criou o cimento Tipo II com o propósito de reduzir a fissuração térmica, por meio da limitação do silicato tricálcico (C3S) e do alumínato tricálcico (C3A).

Em 1940 o limite para o C3A era de 8% e o limite para o C3S era de 50%.

Durante algum tempo o cimento Tipo II funcionou muito bem.

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 2/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Em 1943, a revista “*Concrete*” anunciou : “ Os cimentos com baixo calor de hidratação têm se comportado muito bem e a redução das fissuras de retração foi maior do que a esperada”

Mas em 1960, o cimento Tipo II mudou.

Empreiteiros perceberam que podiam lucrar se a resistência, nas primeiras idades, do cimento Tipo II pudesse ser aumentada.

Embora a finura do cimento estivesse aumentando, empreiteiros pressionaram os fabricantes de cimento que, por sua vez, influenciaram o Comitê C01-Cimento, da ASTM, para remover o limite obrigatório de 50% para o C3S.

Como acordo, o Comitê ofereceu a opção do calor moderado de hidratação, sendo a soma do C3A % e do C3S % limitada a 58%.

Infelizmente, muito poucos “especificadores” foram educados para usar essa opção, e por isso, em 1994, sobravam apenas 33 cimentos com moderado calor de hidratação, entre os 147 cimentos Tipo II existentes nos U.S.A.

Hoje em dia existem menos ainda.

Lutando para alcançar resistências mais altas nos primeiros dias, produtores de cimento continuaram a aumentar tanto a finura quanto o teor de C3S.

Em 1965, o recentemente falecido Eng. Bryant Mather (U.S.A. Army Corps of Engineers) visitou a Europa e constatou que eles tinham, já havia vários anos, um limite máximo para a resistência do cimento nos primeiros dias.

Quando ele recomendou isso ao Comitê ASTM , riram dele.

A resistência, nos primeiros dias, do cimento Tipo II continuou a aumentar, mas isso não poderia ocorrer sem efeitos adversos.

Jack R. Benjamin e L.D. Long sabiam que alguma coisa estava errada.

Eles, junto com outros nove especialistas, selecionados pela A.C.I. (American Concrete Institute), começaram a estudar os problemas na indústria do concreto. Em 1979, eles concluíram que o problema era a mudança que estava acontecendo no cimento Tipo II – estava endurecendo mais rápido e causando fissuras.

J.R.Benjamin e L.D.Long lamentaram a falta de um limite máximo para a resistência nos primeiros dias e disseram que qualquer cimento Tipo II com uma resistência em cubos aos 3 dias maior que 3000 psi (21 MPa) deveria ser considerado como cimento Tipo III (A.R.I.), independente das alegações do produtor.

Em 1954 todos os cimentos Tipo II estavam abaixo dos 3000psi (21MPa)

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 3/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Mas em 1994, 89% desses cimentos estavam acima de 3000psi (21MPa) e deveriam ter sido considerados como Tipo III (cimento A.R.I. de alta resistência inicial)

A despeito dos esforços do grupo tarefa da ACI, a ASTM novamente ignorou as sugestões e a finura , o teor de C3S, e a resistência nos primeiros dias continuaram a crescer.

Se isso persistir o cimento Tipo II desaparecerá no ano 2030 com a idade de 90 anos.

Em defesa dos cimentos Tipo III (A.R.I.): eles são ideais para a industria dos pré-moldados protendidos

Vigas protendidas não fissuram, pois o concreto não tem tensões de tração.

Painéis pré-moldados feitos com cimento Tipo III (A.R.I.) têm uma história de bom desempenho.

Mas concreto de pavimentos de pontes é outra história.

O que dirão os tecnologistas de concreto quando o concreto Tipo II desaparecer completamente?

A maioria continuará com sua teoria errada de que os cimentos Tipo II hiper-ativos podem ser amansados e usados de modo seguro, adicionando mais materiais inertes como cinzas volantes e escórias.

Isso se mostrou incorreto em numerosas investigações e em projetos recentes em Denver.

O cimento Portland é a cola que mantém unidos os agregados entre si.

Se a cola é ruim, adicionar materiais relativamente inertes não a transformará magicamente em uma boa cola.



Fig. 2 - A nova ponte na Rua Washington e na I-25 tem fissuras nos passeios, no pavimento e nas barreiras.

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 4/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Em 1987, Adam Neville escreveu que a deterioração do concreto era devida à falta de limites máximos para a finura, para o teor de aluminato tricálcico (C3A) e para a resistência aos primeiros dias.

Mais de 66 estudos comprovam o princípio de que qualquer coisa que aumente a taxa de hidratação do cimento reduz a durabilidade do concreto.

Embora seja difícil de aceitar que um concreto muito resistente seja mais propenso a fissurar, vale a regra geral de que os materiais se tornam mais propensos a fissurar na medida em que se tornam mais resistentes, e o concreto não é uma exceção.

Mas com o concreto existem fatores adicionais.

Concreto que ganha resistência muito rapidamente pode fissurar devido a auto-tensões: tensões internas cumulativas devidas à retração autógena, retração térmica e retração por secagem.

E concreto muito resistente tem baixa capacidade de fluência para aliviar essas tensões.

O maior módulo de elasticidade desse concreto também contribui para a fissuração.

A acentuada mudança no cimento Tipo II, entre 1954 e 1994, é mostrada na figura 1, como também a larga faixa das resistências nos primeiros dias.

Quando alguém especifica um cimento Tipo II, pode ter sorte e receber um cimento resistente à fissuração com uma resistência de 3500psi (24,5MPa), ou não ter sorte, e receber um cimento propenso à fissuração com resistência de 5000psi (35 MPa)

Isto tem ocorrido repetidamente no Departamento de Transportes do Colorado. Cimentos com hidratação lenta foram usados nas 165 pontes, ainda perfeitas, que foram construídas no Colorado na década de 1950, como a ponte da Washington Street, que está sem qualquer fissura após 50 anos.

Entretanto, o cimento usado no novo viaduto da 23rd Street, que fissurou antes de ser concluído em 1996, tinha um teor de (C3S + C3A)=72% , maior do que todos os cimentos Tipo II dos U.S.A. em 1994.

A finura também era muito alta.

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 5/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------



Fig. 3 – A fissuração em forma de mapa é claramente evidente no piso da nova ponte na I-25, na Rua Washington. Photo : Richard Burrows

Em 2002, quinze das pontes não fissuradas, da safra de 1950, foram substituídas por pontes mais largas. Essas novas pontes estão fissurando.

A primeira delas, na I-25 na Rua Franklin, formou 260 fissuras em apenas três meses, muito embora tivessem sido usadas cinzas volantes (fly ash) e tenha sido concretada durante a noite. Ver figuras 2 e 3.

Os passeios laterais tiveram que ser removidos e substituídos, sendo o novo espaçamento entre as juntas de construção reduzido de 2,70m para 1,20m. Pensava-se que o problema estava resolvido para as 14 pontes a serem construídas a seguir, mas após alguns anos, os novos passeios laterais começaram a fissurar, e nas demais 14 pontes também.

O concreto usado na ponte da I-25 no Boulevard Colorado, concretado em 2004, formou 53 fissuras transversais. A resistência, em cubos, do concreto aos 7 dias era de 39,2MPa.

+ + +

A fissuração nas pistas do Aeroporto Internacional de Denver, Colorado, precipitou uma grande investigação.

Antes mesmo do término das investigações, sabe-se que as fissuras são devidas às tensões de coação e não devidas à reação álcali sílica.

As amostras dos 10 cimentos usados no Aeroporto deram resistências, em cubos, aos 7 dias, entre 31,6 MPa e 37,7MPa, com uma média de 35,5MPa.

+ + +

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 6/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Em 1940 , P.H.Bates, o criador da ASTM C150, estava preocupado com a tendência à fissuração do cimento comum (Tipo I) , que naquela época, tinha resistência, em cubos, aos 7 dias, de 21MPa.

Por isso, ele criou o cimento Tipo II com uma resistência mais baixa , cerca de 17,5MPa.

Se P.H.Bates se preocupava com a tendência à fissuração de cimento com 21MPa, o que pensaria ele sobre os modernos cimentos TIPO I / II com resistências de 35 MPa ?

Lendo relatos dos primeiros trabalhos a respeito da fissuração do concreto, uma coisa é óbvia.

Nós nos tornamos mais tolerantes com a fissuração do que nossos predecessores – provavelmente por causa de nossa óbvia inabilidade ou falta de vontade de resolver o problema.

Com base na Figura 1, o especificador do concreto, que esteja selecionando o cimento Tipo II, para uma aplicação propensa à fissuração, deveria impor um limite máximo de 30,5MPa na resistência, aos 7 dias, segundo a norma ASTM C 109.

O limite de 30,5MPa foi escolhido por causa do limite máximo para o cimento Tipo GU (construção em geral) da norma ASTM C 1157, “Performance Specification for Hydraulic Cement”.

Está sendo feita atualmente uma tentativa de retirar esse limite, o que seria análogo à remoção, em 1960, do limite obrigatório do silicato tricálcico (C3S).

A história, na verdade, tende a se repetir.

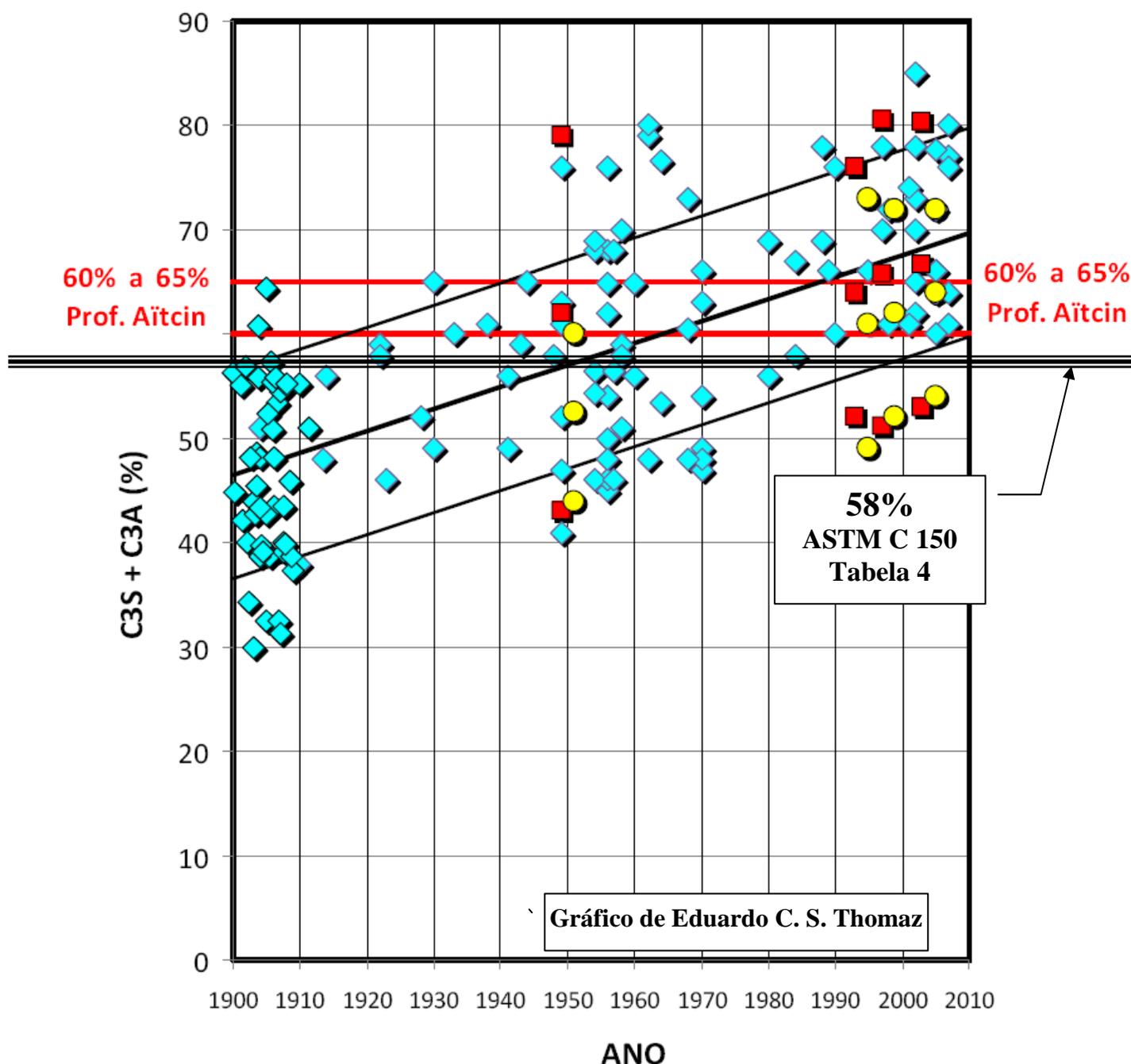
Outra solução é optar pelo cimento com moderado calor de hidratação (Tabela 4 da ASTM C 150) que limita a soma do teor do silicato tricálcico (C3S) com o teor do aluminato tricálcico (C3A) em 58 % , isto é : $(C3S\% + C3A\%) < 58\%$

Observação de E. C. S. Thomaz :

Ver o gráfico adiante, mostrando esse limite (58%) e o limite proposto pelo Prof. Aitcin (60% a 65%), superpostos aos dados dos cimentos encontrados no mercado. Quase nenhum cimento atual satisfaz os limites propostos.



Prof. Aitcin 2009 : C3S + C3A = 60% a 65%



Os pontos em amarelo (CPI) e em vermelho (CP II) são pontos da PCA 2009.

Em qualquer caso, será difícil encontrar um fabricante de cimento que possa fornecer e que vá fornecer o cimento Tipo II com a hidratação lenta.

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 8/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

Durante três anos os 75 membros do Comitê de Cimento da ASTM estiveram votando por um cimento com hidratação lenta e muito resistente à fissuração que poderia ser chamado cimento Tipo VI.

Está em compasso de espera, com nove votos negativos.

No entanto o problema de fissuração das pistas do concreto no Aeroporto Internacional de Denver pode ser de tal importância que finalmente pressione o comitê pela necessidade de um cimento Portland mais resistente à fissuração.

Outro fato que pressiona é que o cimento Tipo VI proposto é essencialmente idêntico ao cimento especial, de baixa fissuração, já usado na maior barragem do mundo – a primeira barragem do Projeto das Três Gargantas na China.

Esse cimento foi desenvolvido pelo Prof. Li Wenwei, vice diretor das operações de concreto da Barragem.

Prof. Wenwei usou a Monografia ACI No 11 , “ The Visible and Invisible Cracking of Concrete” como um guia em seu trabalho.

Comentário de E.C.S.Thomaz : Esse cimento chinês é o chamado cimento belítico com muita Belita (C2S) e pouca Alita (C3S). É o cimento que estão querendo introduzir nos USA como cimento Tipo VI .

Autor - Richard W. Burrows, formado na Escola de Minas do Colorado. entrou para o Bureau of Reclamation em 1946 e publicou seu primeiro paper sobre a durabilidade do concreto em 1951. Recebeu a Medalha Wason por “Pesquisa em Materiais” da A.C.I. – American Concrete Institute, pelo melhor trabalho de pesquisa sobre o concreto em 1960 e 2001.

Ver também do mesmo autor :

1. “ Building Durable Structures in the 21st Century”
Autores : P. Kumar Mehta and Richard W. Burrows
Revista: Concrete International - March 1, 2001
2. Livro : “The Visible and Invisible Cracking of Concrete”
Autor : Richard W. Burrows.
Editora : American Concrete Institute - December 1998

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 9/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	------------------

3. “Mistakes and Misconceptions”

Autor : R. W. Burrows

Revista : Concrete Construction 2009

4. “Three simple tests for selecting low-crack cement”

Autores : R.W. Burrows , W.F. Kepler , D. Hurcomb , J. Schaffer, J.G. Sellers
Cement & Concrete Composites 26 (2004) 509–519

www.elsevier.com/locate/cemconcomp

Discussão por C. Eastwood

“Progresso sim, Retrocesso não.”

“Let's Progress, Not Regress”

Fissuração nos concretos dos pavimentos de pontes é um problema bem conhecido em todo o país, e como Mr. Burrows aponta, pode ser parcialmente atribuída aos cimentos que são propensos à retração.

Para agravar o problema, projetistas precisando de maiores resistências, e empreiteiros e proprietários, querendo reduzir o tempo de construção, têm lançado mão de altas dosagens desses cimentos propensos à retração, juntamente com aditivos redutores de água, o que faz a retração do concreto ser até mesmo maior.

Nas décadas de 1980 e 1990 os Departamentos de Transporte em todo o país aumentaram o teor de cimento no concreto e adicionaram micro-sílica e cinzas volantes para reduzir a permeabilidade, e apelaram para barras da armadura revestidas de epóxi para eliminar a corrosão e a deterioração nos pavimentos de concreto das pontes.

Todas essas mudanças contribuíram para o aumento da fissuração do concreto dos pavimentos.

O maior comprimento de ancoragem necessário nas barras revestidas de epóxi (pior aderência) aumentou a distância entre as fissuras, aumentou a abertura dessas fissuras e elas ficaram mais visíveis.

O resultado final é que em 2006, o que temos é concreto com alta resistência, com baixa permeabilidade e um monte de fissuras.

Em minha opinião um cimento Tipo VI, similar ao produzido em 1940, não é a solução.

	<p>Fissuração do concreto. A influência dos teores de C3S e C3A dos cimentos. Autor: Richard Burrows - 2007</p>	<p>Notas de aula</p>	<p>Prof.. Eduardo C. S. Thomaz</p>	<p>pág. 10/10</p>
---	---	----------------------	------------------------------------	-------------------

Projetos como o TREX (Colorado **T**ransportation **E**xpansion Project) teriam demorado o dobro do tempo se tivessem sido especificados cimentos de pega lenta. Projetistas teriam ficado limitados a concretos com 21MPa, o que limitaria severamente projetos modernos.

Soluções práticas para o problema de fissuração do pavimento de concreto das pontes no TREX foram:

- preencher as fissuras com metil metacrilato, como foi feito nas pontes “Narrows”, ou,
- cobrir as fissuras com membranas impermeáveis e executar sobre-camadas asfálticas, como foi feito nas pontes no trecho sul do TREX.

Pavimentos (sobre o terreno) de concreto não armado, como as usadas no projeto TREX não têm o problema de fissuração, como o observado nas lajes das pistas do Aeroporto Internacional de Denver.

Juntas transversais de contração são cortadas no pavimento com um espaçamento de 4,5 metros imediatamente após o fim de pega do concreto.

As juntas são preenchidas depois com material selante para prevenir a infiltração de água e a penetração de detritos.

Pode ocorrer fissuração no pavimento, fora das juntas, se o corte dessas juntas não for feito na hora certa.

Juntas de construção feitas com ferramentas (e não com a serra de wídia ou de diamante) em pavimentos de concreto armado (com armaduras), como as observadas por Mr. Burrows na ponte Franklin, não controlarão a fissuração do concreto a não ser que as barras da armadura também sejam interrompidas nas juntas.

A fissuração de elementos de concreto pré-comprimidos ou pós-comprimidos, como as vigas de pontes, não é problema. Protensão pode vir a ser uma solução, em futuros projetos, para o problema da fissuração dos pavimentos de pontes.

Painéis protendidos produzidos em fábricas podem ser acoplados por meio de concretagem no local com pós-compressão.

- C. Eastwood foi um dos membros do Depto. de Transporte do Colorado no projeto TREx.