



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ESTUDO DA REGENERAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A PARTIR DE INDUÇÃO MAGNÉTICA

Felipe do Canto Pivetta

Acadêmico do curso de Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul
fcpivetta@hotmail.com

Eduarda Fontoura

Acadêmico do curso de Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul
efonroua08@gmail.com

Gracieli Bordin Colpo

Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
gracieli.colpo@ufrgs.br

Douglas Martins Mocelin

Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
douglas.martins.m@hotmail.com

Lélio Antônio Teixeira Brito

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
lelio.brito@pucrs.br

Resumo. A recuperação da camada de revestimento do pavimento asfáltico é um tema de grande interesse devido ao impacto econômico gerado e de segurança e conforto ao usuário da rodovia. Este trabalho tem como objetivo fornecer um apanhado teórico dos conhecimentos técnicos e experimentais que justifiquem a utilização de fibras de lã de aço em pavimentos asfálticos a fins de regenerar danos causados ao revestimento. Esta técnica, denominada regeneração por indução, que já vem sendo muito estudada mundialmente, utiliza um campo magnético alternado para aumentar a temperatura da mistura permitindo assim, a interdifusão do ligante asfáltico para as regiões danificadas, regenerando-as.

Palavras-chave: Revestimento asfáltico. Regeneração de trincas. Fibras metálicas.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os materiais utilizados na pavimentação no Brasil e no mundo, o

revestimento asfáltico é possivelmente o de maior relevância, despontando entre os materiais mais aplicados quando se trata de rodovias. Tradicionalmente, revestimentos asfálticos são constituídos por agregados de origem pétreo e cimento asfáltico de petróleo (CAP) mas, com a evolução dos anos, novos materiais foram sendo utilizados e novas tecnologias surgiram a fim de modificar ou até mesmo inserir características de interesse nas misturas asfálticas. Muitos estudos foram e são realizados com estes materiais de interesse, citando-se o uso de cales, polímeros, fibras, resíduos industriais e aditivos químicos [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Atualmente, variados estudos contemplam a capacidade de regeneração de fissuras no revestimento asfáltico, através de técnicas que promovem um aumento de temperatura, selando trincas e, assim, prolongando a vida útil do material [7, 8, 9]. Uma destas possíveis técnicas, consiste na adição de fibras metálicas na mistura asfáltica com o intuito de permitir a utilização de



equipamentos de indução magnética para gerar o aumento de temperatura necessário para a regeneração do material [10].

O objetivo deste trabalho é fornecer uma síntese dos estudos que compõem o estado da arte referente ao uso de fibras metálicas direcionadas à regeneração de trincas em misturas asfálticas através de indução magnética.

2. FIBRAS METÁLICAS

Efeitos como desgaste, descolamento, trincas por fadiga, entre outros geram uma crescente busca por materiais que possam minimizar ou até mesmo reparar os problemas causados.

Alguns autores sugerem o uso de diversos tipos de fibras, como fibras de aço [11], celulose [2, 6], polipropileno [2, 5, 4] e poliéster [2, 4], além do objeto de estudo deste artigo, fibras de lã de aço. Acredita-se que as fibras metálicas possam melhorar características de resistência das misturas asfálticas e, quando aquecidas, podem se tornar um material cicatrizante de fissuras.

Assim como qualquer outro material que é adicionado a mistura asfáltica, as fibras precisam passar por um processo de caracterização. Neste processo são definidas as características que irão influenciar no resultado que se busca.

2.1 Influência da morfologia das fibras metálicas

Garcia *et al.* [12], analisaram o comportamento de misturas asfálticas com adição de fibras metálicas de diferentes comprimentos e diâmetros chegando à conclusão que estes dois parâmetros juntamente com o teor de fibras utilizado têm grande influência e, que mais estudos neste sentido devem ser realizados para se chegar a um padrão ideal de trabalho.

O potencial das fibras metálicas é relacionado à sua condutividade elétrica,

portanto imagina-se que teores altos na mistura elevem esse potencial, porém quando são combinados a comprimentos longos e diâmetros menores há um aumento no aparecimento de grumos, aglomerados de fibras (em inglês, *cluster*) [12].

Neste caso, a forma como os agregados, ligante asfáltico e as fibras são incorporados e em conjunto com o método de compactação, têm relação direta na distribuição ao longo da amostra. Sabe-se que estes aglomerados influenciam no teor de vazios da mistura.

Estudos apontam que o comprimento da fibra é alterado no processo de compactação da mistura, neste sentido observa-se que fibras curtas não apresentam uma grande variação de comprimento, enquanto fibras longas apresentam grande diferença, ficando muito próximas das fibras curtas, o que pode contribuir no aparecimento de aglomerados ao longo dos corpos de prova. Diâmetros menores também influenciam nesse sentido, além de apresentar menor resistência [9].

3. PROCESSO DE REGENERAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Nesta sessão serão apresentados o mecanismo de funcionamento do aquecimento por indução e métodos utilizados para medir a regeneração assim proporcionada.

3.1 Aquecimento por indução

A capacidade de regeneração de fissuras no maciço asfáltico através de indução magnética tem por princípio básico o aquecimento das fibras metálicas [13, 14]. Este fenômeno é baseado, entre outros, na Lei de Faraday de indução eletromagnética, que apresenta sua forma diferencial na equação (1):



$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

Onde ε é a força eletromotriz (V); Φ_B é o fluxo magnético (Wb).

A partir da equação (1), pode-se deduzir que a força eletromotriz ou diferença de potencial em uma espira é dada por:

$$\varepsilon = \omega \cdot \Phi_B \cdot A \quad (2)$$

ω é a frequência angular do campo magnético (rad/s); A é a área envolta pela espira (m²).

Em outras palavras, quando um elemento eletricamente condutivo se encontra na presença de um campo magnético variável uma força eletromotriz será induzida neste elemento e, conseqüentemente, ocorrerá a passagem de corrente elétrica induzida, denominada Corrente de Foucault, por este elemento.

Uma vez que exista uma corrente elétrica percorrendo o elemento o efeito Joule, descrito pela equação (3), permite calcular o calor associado a este evento.

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \quad (3)$$

Onde W é a energia dissipada (J); I é a corrente elétrica que circula pelo elemento (A); R é a resistência elétrica do elemento (Ω); t é o tempo de duração da corrente elétrica (s).

A energia calculada através da equação (3), é dissipada na forma de calor que, é concentrada nas fibras metálicas presentes na mistura asfáltica. Uma vez que as fibras esquentam em meio à massa asfáltica, elas são capazes de derreter o ligante asfáltico, fazendo com que este flua até a região trincada, preenchendo os espaços em vazio e regenerando o dano até então presente [15].

3.2 Efeito da regeneração em ensaios mecânicos

Muitos são os possíveis efeitos da regeneração por indução nas misturas asfálticas e, conseqüentemente, muitos são os possíveis ensaios utilizados para caracterizar este efeito.

Um estudo realizado por Liu *et al.* [14], apresenta uma análise da regeneração de resistência à tração em um ensaio de flexão a três pontos com deslocamento controlado de amostras asfálticas moldadas com fibras de aço e de lã de aço, indicando uma recuperação de resistência de até 83,9% do valor inicial.

Um estudo similar é desenvolvido por Norambuena-Contreras *et al.* [7], testando diversos ciclos de regeneração e avaliando o número de vezes em que o processo pode ser repetido em uma mesma amostra. Este estudo indica que o nível de regeneração varia de acordo com a quantidade de fibras da mistura, com um percentual de até aproximadamente 65% de regeneração para o primeiro ciclo de regeneração e de até aproximadamente 10% para o décimo ciclo de regeneração.

Ambos os estudos analisam a recuperação da resistência das amostras comparando os valores obtidos com o valor resistido pela amostra de referência, aplicando a regeneração após fratura completa das mesmas.

Estes estudos avaliam o efeito da regeneração em micro e macro trincas, comprovando sua eficiência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou os conceitos físicos que permitem que o efeito de regeneração asfáltica ocorra em misturas moldadas com fibras de lã de aço. Este efeito ocorre graças ao aumento de temperatura localizado no entorno das fibras, quando da exposição destas a um campo magnético alternado, capaz de levar o ligante asfáltico a



uma temperatura mais elevada, na qual sua viscosidade seja tal que permita sua interdifusão à regiões no maciço asfáltico onde existam maior espaço, como macro ou micro trincas. Ao ocupar estes espaços, a resistência mecânica da mistura asfáltica é recuperada quando esta retorna à temperatura ambiente. Adicionalmente foram analisados estudos sobre a morfologia das fibras utilizadas na mistura, onde foi possível perceber que além do teor adicionado a mistura, características específicas das fibras, como diâmetro e comprimento, também devem ser consideradas ao produzir a dosagem adequada.

Como próximos passos da pesquisa, pretende-se produzir uma mistura asfáltica própria, utilizando fibras de aço realizando também uma análise da vida de fadiga.

5. REFERÊNCIAS

- [1] P. AYAR, F MORENO-NAVARRO and M. C.RUBIO-GÁMEZ, “The healing capability of asphalt pavements: a state of the art review” *Journal of Cleaner Production* 113, Dec. 2015, pp. 28-40
- [2] S. M ABTAHI, M. SHEIKHZADEH and S. M. HEJAZI, “Fiber-Reinforced Asphalt-Concrete – A Review” *Construction and Building Materials* 24, Dec. 2009.
- [3] C. GORKEM and B. SENGOZ, “Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime” *Construction and Building Materials* 23, Jan. 2009, pp. 2227-2236.
- [4] D. A. MAURER and G. J. MALASHESKIE, “Field performance of fabrics and fibers to retard reflective cracking” *Geotextiles and Geomembranes* 8, 1989, pp. 239-267.
- [5] H. HUANG and T. D. WHITE, “Dynamic Properties of Fiber-Modified Overlay Mixture” *Transportation Research Record* 1545, 1996, pp. 98-104.
- [6] Y. DECOENE, “Contribution of cellulose fibers to the performance of porous asphalts” *Transportation Research Record* 1265, 1990, pp. 82-86.
- [7] J. NORAMBUENA-CONTRERAS and A. GARCIA, “Self-healing of asphalt mixture by microwave and induction heating” *Materials and Design* 106, May 2016, pp. 404-414.
- [8] B. GÓMEZ-MEIJIDE, H. AJAM, P. LASTRA-GONZÁLEZ and A. GARCIA, “Effect of air voids content on asphalt self-healing via induction and infrared heating” *Construction and Building Materials* 126, Sep. 2016, pp. 957-966.
- [9] J.NORAMBUENA-CONTRERAS R. SERPELL, G.VALDÉS VIDAL, A. GONZÁLEZ, E. SCHLANGEN, “Effect of fibers addition on the physical and mechanical properties of asphalt mixtures with crack-healing purposes by microwave radiation” *Construction and Building Material* 127, Oct 2016, pp. 369-382.
- [10] A. GARCIA, E. SCHLANGEN, M. V. VEN and Q. LIU, “A simple model to define induction heating in asphalt mastic” *Construction and Building Materials* 31, Jan. 2012, pp. 38-46.
- [11] S. SERIN, N. MOROVA, M. SALTAN and S. TERZI, “Investigation of usability of steel fibers in Asphalt Concrete Mixtures” *Construction and Building Materials* 36, Jun. 2012.
- [12] A.GARCIA, J. NORAMBUENA-CONTRERAS, M. N. PARTL and P. SCHUETZ, “Uniformity and mechanical properties of dense asphalt concrete with steel wool fibers” *Construction and Building Materials* 43, Mar. 2013, pp. 107-117.
- [13] R. RUDOLF, P. MITSCHANG and M. NEITZEL, “Induction heating of continuous carbon-fiber-reinforced thermoplastics” *Composites: Part A* 31, May 2000, pp. 1191-1202.
- [14] Q. LIU, S. WU and E. SCHLANGEN, “Induction heating of asphalt mastic for crack control” *Construction and Building Material* 41, Jan. 2013, pp. 345-351.
- [15] A. GARCIA, J. NORAMBUENA-CONTRERAS, M. BUENO and M. N. PARTI, “Influence of Steel Wool Fibers on the Mechanical, Thermal, and Healing Properties of Dense Asphalt Concrete” *Journal of Testing and Evaluation*, Sep. 2014.