



EFEITOS DO EXTRATO DE LIMÃO NA PROTEÇÃO CONTRA DANOS EM ASFALTO CAUSADOS PELA ALTA TEMPERATURA

EFFECTS OF LEMON EXTRACT ON HIGH TEMPERATURE PROTECTION FROM ASPHALT DAMAGE

Geovana Thiara Rodrigues de Lima¹, Lucas Força Mariani¹, Endrik Nardotto Rios², Orlando Chiarelli Neto³

¹Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC; ²Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa e professor do Curso de Engenharia Civil do UNESC; ³Professor Integral do Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC e Doutor em Bioquímica do pela Universidade de São Paulo – USP.

RESUMO

A irradiação solar e a temperatura têm causado danos na estrutura asfáltica e a adição de componentes antioxidantes tende a ser uma estratégia de proteção. O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito protetor do extrato de limão em amostras de asfalto desafiadas a altas temperaturas pela incubação em estufa a 120 °C. As amostras foram divididas em grupos A1 (5% do extrato), A2 (3,3% do extrato), A3 (1,6% do extrato) e A4 controle (0% de extrato) onde algumas foram usinadas com extrato de limão Taiti (*Citrus latifolia*) para investigar a termo-proteção. Propriedades químicas e físicas, bem como análises para resistência à compressão axial simples (MPa) foram realizadas e a estatística foi elaborada pelo programa Origin 7,0 e significância a $p < 0,05$. O grupo A3 tratado com 1,6% de extrato apresentou resistência à compressão 24% maior (15,25 Mpa,) que o grupo A4 incubado sem extrato (12,31 Mpa). Os dados indicam que 1,6% de extrato de limão adicionado ao asfalto usinado agrega maior resistência à compressão (MPa) a amostras submetidas a altas temperaturas.

Palavras-Chave: Asfalto, Temperaturas, Extrato de limão, Resistência à compressão.

ABSTRACT

The sun irradiation and temperature has caused damage to the asphalt structure and the addition of antioxidant components can be a protection strategy. The objective of this work was to investigate the protective effect of lemon extract in asphalt samples challenged at high temperatures by incubation in a greenhouse at 120 ° C. The sample were divided into A1 (extract 5%) and A2 (extract 3,33%), A3 (extract 1,67%) and A4 control (extract 0%) groups. Some were treated with Taiti lemon extract (*Citrusaurantifolia*) to verify termo-protection. Chemical and physical properties as well as compressive strength test (MPa) were performed, and the statistic was performed by the Origin 7.0 program, at $p < 0.05$. The A3 group treated with 1.6% of extract showed compressive strength (15.25 MPa) 24% more than control group (12.31 MPa). The data indicate that 1.6% of lemon extract added to



machined asphalt adds greater compressive strength (MPa) to samples subjected to high temperatures.

Keywords: Asphalt, Temperature, lemon extract, compressive strength.

INTRODUÇÃO

O revestimento betuminoso sofre consequências conforme as intempéries se modificam, pois, o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é sensível a variações de temperaturas. E quanto mais alta a temperatura, caso dos países tropicais como o Brasil, o capeamento está sujeito a amolecimento e deformações, contribuindo para o envelhecimento precoce das rodovias (AMARAL, 2000).

Dados climáticos são importantes nos programas atuais de dimensionamento de pavimentos (BRITO, 2010), e apesar de cuidados nas etapas construtivas terem sido tomados nas últimas décadas (BERNUCCI et al., 2008; D'ANTONA, 2009, CAVALCANTI, 2010; AHMADINIA et al., 2011), o crescente número de veículos tem causado aceleração dos danos no asfalto (BHAGEERATHY, et al, 2014). Dados mostram que as adições de polímeros diminuem as deformações permanentes, trincas por fadiga e aumentam a flexibilidade, durabilidade e (SULYMAN et al, 2016) rigidez (SILVA, 2005; AHMADINIA et al, 2012; MOGHADDAM et al, 2012; ARAÚJO, 2013; SADADIWALA, 2015; MENARIA; SANKHLA, 2015; SOJOBI, 2016; COELHO et al, 2018).

Desta forma, busca-se a solução para patologia em asfalto causada pela exposição a altas temperaturas no CAP. As frutas cítricas apresentam compostos bioativos, dentre estes se destacam o ácido ascórbico, os compostos fenólicos e os carotenoides, todos apresentando ação antioxidante (DUZZIONI et al., 2010). Os flavonoides são componentes de peso molecular baixo presentes em variadas espécies vegetais, como o limão (BARREIROS et al., 2006). Dentre esses compostos, a miricetina e a quercetina são componentes do limão com ação antioxidante, e a ação contra danos em asfalto causados por altas temperaturas ainda carece de informações na literatura.

Em decorrência desses fatores, a adição de agentes protetores da estrutura asfáltica parece ser uma janela de investigação. Utilizar o extrato de limão como matéria-prima para inibir as patologias no asfalto pode ser uma estratégia de

preservação do pavimento. Pressupõe-se mostrar aqui que o extrato de limão pode ser capaz de atenuar os danos asfálticos provenientes das altas temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova foram executados no Departamento de Estradas e Rodagens do Espírito Santo (DER-ES), conforme as diretrizes para traço de mistura de concreto betuminoso usinado a quente CBUQ – FAIXA C pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) 031/2006 – ES e betume de Cimento Asfáltico de Petróleo 50/70 fornecido pela Petrobras. Vale ressaltar que não houve adição de agregados na mistura, visto que o objetivo da pesquisa visa determinar o comportamento físico/químico do betume com o extrato de limão pela exposição ao calor.

A concepção dos corpos de prova foi proveniente do ensaio Marshall, com método de aplicação DNER-ME 043 (1995). Foram executadas 12 amostras, subdivididas em 04 grupos com 03 repetições cada.



Figura 1: Corpo de prova A1/2 no processo de pesagem imerso em água e no ar, respectivamente.

Para analisar a massa específica aparente, cada amostra foi pesada em submersão aquosa e em ar. A diferença entre os volumes secos e vazios possibilitou esta análise, sendo possível detectar como as amostras reagiram em relação à

absorção de água após comparação dos volumes. De acordo com a DNER-ME 117/94, a razão entre a massa seca e a diferença entre a massa seca e a submersa do corpo de prova caracteriza o cálculo para determinação da massa específica aparente.

No grupo A1, os corpos de prova foram constituídos de 1140 g de CAP e 60 g de extrato de limão (5% da mistura). As repetições foram nomeadas de 1 a 3 conforme a tabela 1.

Tabela 1: Variáveis para os cálculos físicos/químicos do grupo A1 (5% de extrato de limão).

| | REPETIÇÕES | ESPESSURA (cm) | PESO AR (g) | PESO IMERSO (g) | VOLUME (cm ³) | MASSA ESPECÍFICA(g.cm ⁻³) |
|----|------------|----------------|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|
| A1 | 1 | 5,92 | 1134,96 | 660,49 | 474,47 | 2,392 |
| | 2 | 5,94 | 1128,84 | 655,30 | 473,54 | 2,384 |
| | 3 | 6,30 | 1159,47 | 657,05 | 502,42 | 2,308 |

No grupo A2, a execução dos corpos de prova utilizou 1160 g de CAP e 40 g de extrato de limão (3,33% da mistura), com repetições nomeadas de 4 a 6, e suas especificações demonstradas conforme a tabela 2.

Tabela 2: Variáveis para os cálculos físicos/químicos do grupo A2 (3,33% de extrato de limão).

| | REPETIÇÕES | ESPESSURA (cm) | PESO AR (g) | PESO IMERSO (g) | VOLUME (cm ³) | MASSA ESPECÍFICA(g.c m ⁻³) |
|----|------------|----------------|-------------|-----------------|---------------------------|--|
| A2 | 4 | 6,22 | 1163,53 | 671,86 | 491,67 | 2,366 |
| | 5 | 6,09 | 1156,41 | 671,75 | 484,66 | 2,386 |
| | 6 | 6,17 | 1174,84 | 678,5 | 496,34 | 2,367 |

No grupo A3, foram utilizadas 1180 g de CAP e 20 g de extrato de limão (1,6% da mistura), suas repetições foram nomeadas de 7 a 9, com propriedades descritas na tabela 3.

Tabela 3: Variáveis para os cálculos físicos/químicos do grupo A3 (1,6% de extrato de limão).

| | REPETIÇÕES | ESPESSURA (cm) | PESO AR (g) | PESO IMERSO (g) | VOLUME (cm ³) | MASSA ESPECÍFICA (g.cm ⁻³) |
|----|------------|----------------|-------------|-----------------|---------------------------|--|
| A3 | 7 | 6,07 | 1172,77 | 689,40 | 483,37 | 2,426 |
| | 8 | 6,08 | 1180,47 | 693,90 | 486,57 | 2,426 |
| | 9 | 6,14 | 1182,94 | 695,07 | 487,87 | 2,424 |

Para o grupo A4, os corpos de prova não receberam o extrato de limão e serviram como controle para observação de efeitos não previstos. Moldados com 1200 g de CAP e com repetições de 10 a 12, conforme tabela 4.

Tabela 4: Variáveis para os cálculos físicos/químicos do grupo A4 (sem adição de extrato).

| | REPETIÇÕES | ESPESSURA (cm) | PESO AR (g) | PESO IMERSO (g) | VOLUME (cm ³) | MASSA ESPECÍFICA (g.cm ⁻³) |
|----|------------|----------------|-------------|-----------------|---------------------------|--|
| A4 | 10 | 6,14 | 1197,58 | 708,45 | 489,13 | 2,448 |
| | 11 | 6,17 | 1203,37 | 712,15 | 491,22 | 2,450 |
| | 12 | 6,22 | 1208,71 | 717,31 | 491,4 | 2,460 |

Os ensaios foram realizados nas Instalações do Centro Tecnológico do Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC Colatina. Os corpos de prova foram mantidos por 21 dias ininterruptos em estufa, a uma temperatura de 120 °C, conforme norma DNIT 031/2006 – ES, já que a temperatura do ligante não deve ser inferior a 107 °C e não exceder a 177 °C.

Após etapa infravermelha (calor), todos os grupos foram inseridos em suporte na máquina EMIC DL30000N para análise de resistência à compressão axial simples (MPa) e foram avaliados até rompimento. Os dados foram analisados pelo software Origin 7,0 a $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de incubação na estufa, os corpos de prova foram acompanhados diariamente, desde o tempo zero (figura 2a) até o vigésimo primeiro dia de experimento (figura 2b). O aumento da coloração escura e brilho (Figura 2b) dos corpos de prova foram observados nas amostras incubadas com extrato no final do experimento. Embora não tenham sido realizados experimentos para avaliar o produto de reações químicas frente ao extrato e temperatura, as amostras apresentaram alterações quanto à resistência à compressão.



Figura 2: Corpos de prova no primeiro dia (a) e no 21º dia de incubação (b).

Após incubação, o grupo A1 (5% do extrato) não apresentou deterioração dos corpos de prova ou da textura. Notável que o odor do extrato de limão ainda estava presente nas amostras. Sugere-se que o extrato ainda pode estar presente na amostra usinada, mesmo sob as agressões da temperatura. Experimentos com agregados de garrafa PET e borracha (COELHO et al 2018) mostraram preservação na estrutura asfáltica, mas não se conhece o tempo de eficácia desses compostos na estrutura. Nesse mesmo sentido, o odor nas amostras, observado neste trabalho, sinaliza a permanência do extrato na mistura asfáltica mesmo após os 21 dias à temperatura elevada.

No grupo A2 (3,33% do extrato), os corpos de prova também não apresentaram deterioração ou perda de textura, persistindo, inclusive, o odor do extrato. Na avaliação do grupo A3 (1,67% do extrato), o odor do extrato também foi presente, porém, de forma mais moderada. Isso se deve ao fato desse grupo possuir menor concentração de extrato em sua composição. Notável que nas amostras de A3 não foram observadas alterações na textura e não houve deterioração. Isso pode ser relacionado com valor de massa específica maior (tabela 3) em relação aos demais grupos desafiados (ver tabela 1 e 2). O grupo A4 (0% do extrato) não recebeu o extrato de limão, portanto, não apresentou odor diferente bem como manteve a integridade de sua textura e não apresentou deterioração visível. Os valores de massa específica do grupo A3 (tabela 3) mostram que os agregados químicos que constituem o corpo sólido estão arranjados de forma a apresentarem proximidades com o grupo controle A4 (tabela 4).

Após o desafio, (incubação de 500 horas a 120 °C) os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão (MPa). Os corpos do grupo A1 obtiveram média de 11.39 MPa (tabela 1); valor abaixo do grupo controle A4 (12,31 MPa). Esse dado mostra que a porcentagem de 5% do extrato não é adequada para a resistência dos corpos de prova asfáltico, por estar abaixo do valor controle (A4), além de apresentar variações dos valores de MPa entre as amostras (figura 3). Pelos experimentos aqui realizados, valores de massa específica de A1 abaixo do controle A4 podem apresentar arranjos dos agregados inadequados quimicamente.

Além disso, dados da literatura têm mostrado que teores maiores de agregados (borracha e PET) em corpos asfálticos causam diminuição da resistência à compressão (MOGHADAM 2012; COELHO et al., 2018). Esses dados vão ao encontro dos encontrados nesta pesquisa no que se refere ao tratamento térmico em que as amostras do grupo A1 foram submetidas. Isso mostra que a porcentagem dos elementos de desafio (extrato de limão) está diretamente relacionadas com a qualidade do asfalto.

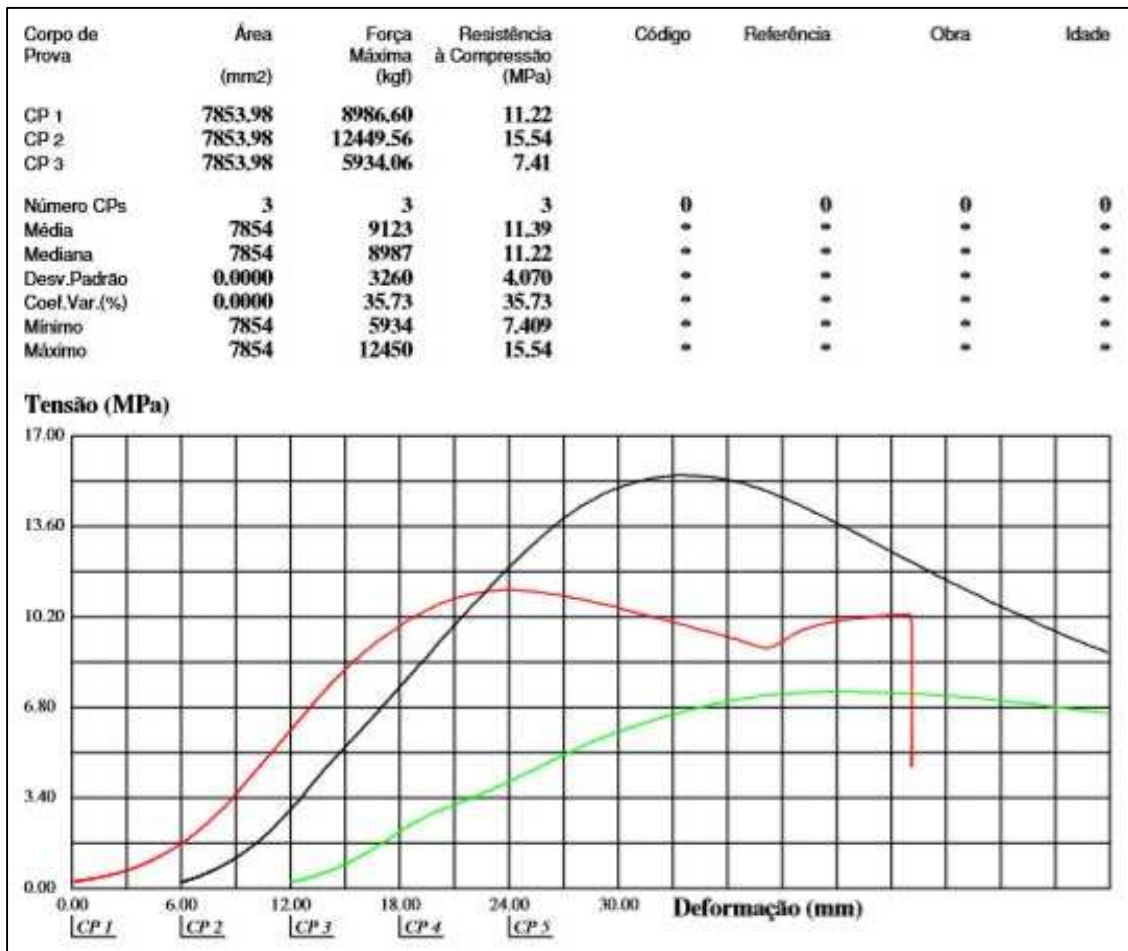


Figura 3: Ensaio de resistência compressão dos corpos de prova CP1, CP2 e CP3 do grupo A1

A média do grupo A2 foi de 14,06 MPa, (figura 4), valor acima do grupo controle A4 (12,31 MPa). Nota-se que a diminuição do extrato de limão para 3,33% na mistura usinada, aumentou a capacidade de resistência à compressão axial simples (MPa), manifestando importante aumento do tempo de vida das amostras (figura 4). A exposição a temperaturas elevadas pode aumentar a resistência do asfalto quando este é associado a porcentagens de extrato de limão.

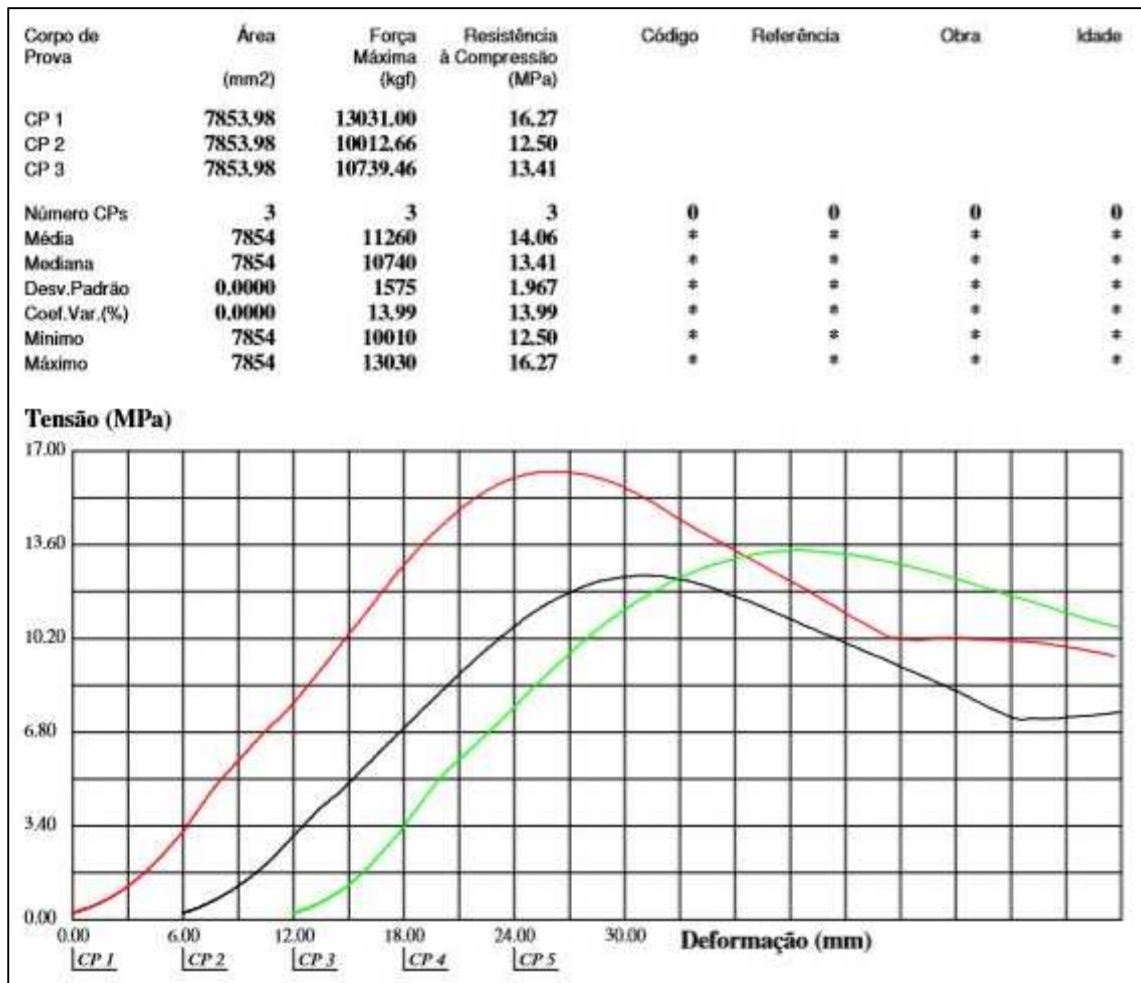


Figura 4: Ensaio de resistência compressão do dos corpos de prova CP1, CP2 e CP3 do grupo A2.

Já no grupo A3, a média foi de 15,25 MPa (figura 5). A adição de extrato de limão a 1,6% refletiu o melhor resultado entre todos os grupos analisados, expondo boa resistência à compressão axial simples (MPa) e valores de repetição aproximados. Os dados de A3 mostram importante avanço na durabilidade e vida útil do asfalto quando este é exposto a altas temperaturas. Outros dados da literatura mostram que asfaltos modificados por agregados (polímero de borracha e PET, etc.), podem melhorar muito as características de um pavimento flexível, como a diminuição de deformações permanentes, trincas por fadiga, capazes de diminuir a temperatura de ponto de amolecimento e a melhora da adesividade agregado-betume (SULYMAN et al., 2016, COELHO et al., 2018). Esse resultado revela a possibilidade de implementar extrato de limão na usinagem do asfalto, e permitir que este tenha melhor desempenho quando exposto a temperaturas severas.

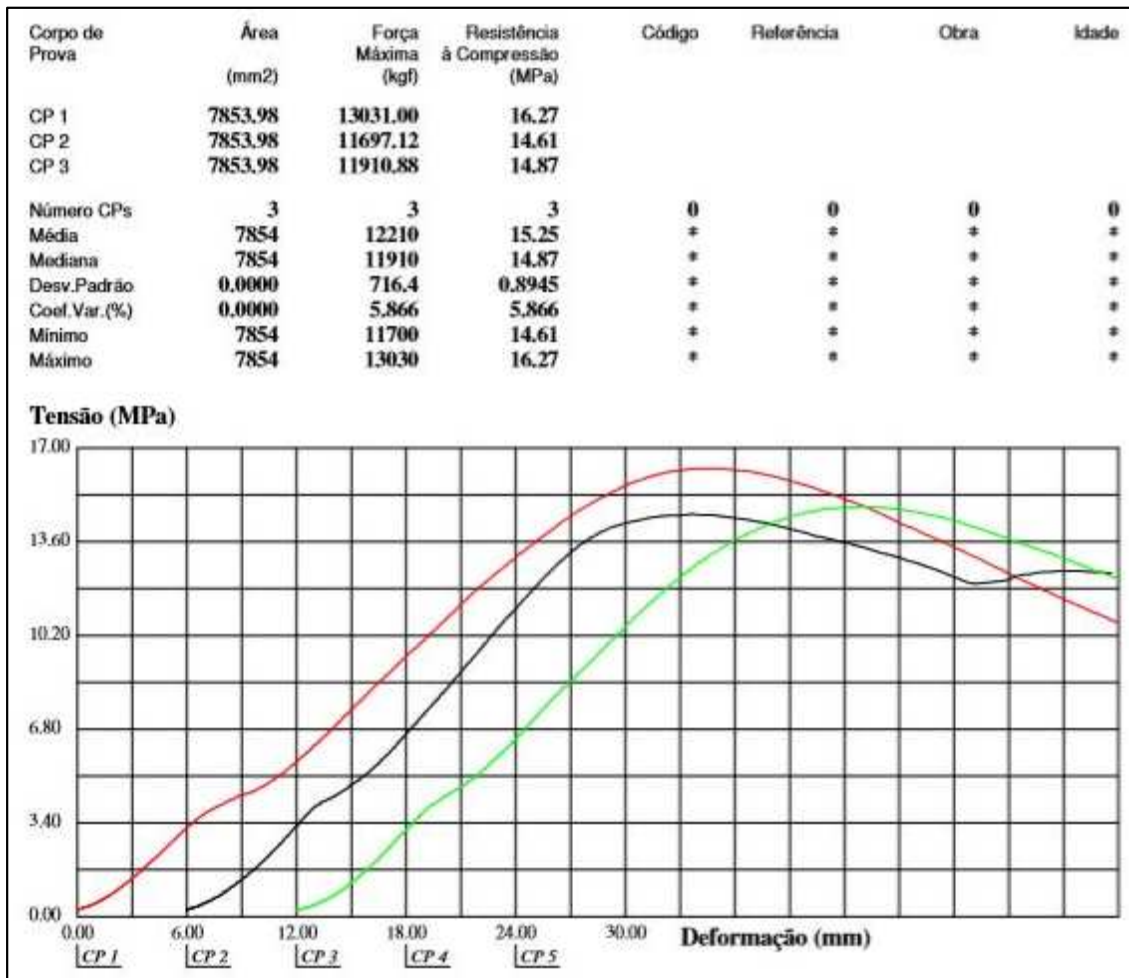


Figura 5: Ensaio de resistência compressão do dos corpos de prova CP1, CP2 e CP3 grupo A3.

No grupo controle A4, que não possui adição de extrato, os dados obtidos foram em média geral 12,31 MPa (figura 6). Os dados indicam que a não adição de extrato na usinagem do asfalto exerce importante observação no comportamento das amostras quando expostas a temperaturas elevadas, em contraste aos demais grupos.

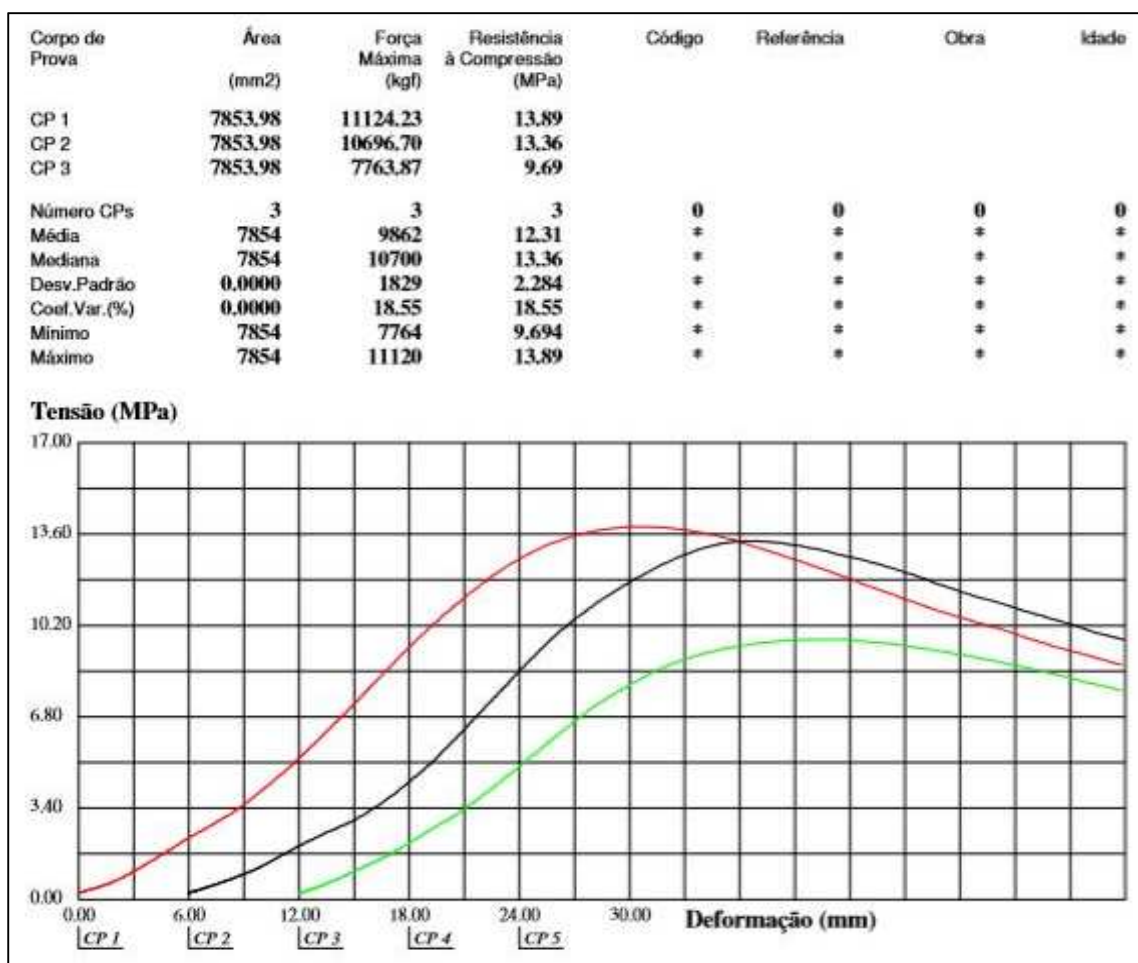


Figura 6: Ensaio de resistência compressão dos corpos de prova CP1, CP2 e CP3 do grupo A4

A variação dos dados de A1, A2 e A3 em relação ao A4, reflete a importância de dosar as proporções de extrato de limão na usinagem a fim garantir um asfalto com condições de durabilidade e resistência maiores que o convencional (sem adição do extrato). Por razão dos danos causados pelo calor nas estruturas asfálticas, vale ressaltar perda de resistência à compressão axial pelo grupo A1 (com maior adição de composto) em 8% menos no que se refere à eficiência e a resistência média do grupo controle (A4) (ver figura 3 e 6). Ao mesmo tempo, o grupo A3 (com menor adição de extrato) obteve aumento da resistência em 24% em comparação ao grupo controle A4, demonstrando uma proteção maior à temperatura elevada (figura 5 e 6). Esses dados vão ao encontro dos dados de Coelho e colaboradores (2018) no que se remete à porcentagem de agentes anti-danos. Agregados de garrafa PET 1% foram mais eficazes na resistência à compressão quando irradiados com luz visível, e a adição de extrato de limão a 1,6 % também foi adequado para a resistência à compressão após submissão de calor 120 °C. Isso

mostra a importância da dosagem adequada na mistura asfáltica para obtenção de pavimentos mais resistentes.

CONCLUSÃO

Os dados sugerem que os danos causados pelas altas temperaturas, como a fadiga, fragilidade na estrutura asfáltica e aumento no envelhecimento (BRITO et al, 2010) podem ser atenuados por meio da incorporação de extrato de limão (1,6%) no processo de usinagem. Os dados revelaram que uma dosagem alta (5%) do extrato promoveu queda da resistência à compressão axial simples e dosagem de 1,6% de extrato (grupo A3), proporcionou aumento da resistência em 24% em relação ao controle. Sugere-se, portanto, que corpos de prova com extrato de limão 1,6% adicionado na usinagem pode ser uma estratégia de prevenção a danos térmicos causados na estrutura asfáltica.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Departamento de Estradas e Rodagem do ES e ao Centro Universitário do Espírito Santo por oportunizar a produção dos corpos de prova, incubação das amostras em estufa e equipamento de ensaio de resistência à compressão.

REFERÊNCIAS

AHMADINIA, E.; ZAGAR, M.; KARIM, M. R.; ABDELAZIZ, M.; SHAFIGH, P. Using waste plastic bottles as additive for Stone mastic asphalt. **Materials & Design**. v. 32, n. 10, p. 4844–4849, 2011.

_____. Performance evaluation of utilization of waste polyethylene terephthalate (PET) in Stone mastic asphalt. **Construction and Building Materials**. v.36, p. 984-989, 2012.

ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 10, 2010. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S010040422010001000033>. Acesso em: 01 Set. 2015.

AMARAL, S. C. **Estudo das misturas asfálticas densas com agregados do estado do Pará, utilizando asfalto convencional (CAP 40) e asfalto modificado com polímero SBS (BETUFLEX B 65/60)**. 2000. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 2000.

ARAÚJO, L. E. O. **Estudo das interações químicas, físicas e reológicas de ligante asfáltico modificado a temperatura intermediária com fibras de poliéster reciclado**. 2013, 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, 2006. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422006000100021>. Acesso em: 01 Set. 2015.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Imprinta 2008, 25-59 p.

BHAGEERATHY, K. P.; ANU, A. P; MANJU, V. S; RAJI, A. K. Uso de resíduos de plástico biomecânico na construção de estradas betuminosas. **Revista Internacional de Engenharia e Tecnologia Avançada**, v. 3, n.6, p.89-91, 2014.

BRITO, L. A. T.; HELLER, L. F.; VITORELLO, T.; HIRSCH, F.; MALLMANN, K.; SACARDO, R.; TIEFENSEE, M.; BERGMANN, E. **Influência da temperatura no comportamento de pavimentos flexíveis: uma análise direcionada às ilhas de calor**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/concessionaria_concepa_sa.pdf>. Acesso em: 01 Set. 2017.

CAVALCANTI, L. S. **Efeito de alguns modificadores de ligante na vida de fadiga e deformação permanente de misturas asfálticas**. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=182738>. Acesso em: 03 Set. 2015.

CHIARELLI-NETO, O.; FERREIRA, A. S.; MARTINS, W. K.; PAVANI, C.; SEVERINO, D.; FAIÃO-FLORES, F.; MARIA-ENGLER, S. S.; ALIPRANDINI, E.; MARTINEZ, G. R.; DI MASCIO, P.; MEDEIROS, M. H.; BAPTISTA, M. S. Melanin photosensitization and the effect of visible light on epithelial cells. **Plos One**, v. 9, n. 11, 2014. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0113266>>. Acesso em: 03 Set. 2015.

CHIARELLI-NETO, O. **Fotoquímica de Superfícies (Asfalto)**. Jornada Acadêmica de Engenharia – UNESC, 2014.

COELHO, M. L; RIOS, N. E; PEREIRA, M. C; CHIARELLI-NETO, O. Agregados de garrafa pet tornam o asfalto mais resistente após irradiação com luz visível. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.5, n.1, p.1-8, 2018.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n5/v30n5a19.pdf>>. Acesso em: 03 Set. 2015.

D'ANTONA, D. M. G.; FROTA, C. A. Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado pelo Polímero EVA para Pavimentos Urbanos de Manaus - AM. **Polímeros**, v. 21, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/2011nahead/AOP_0531.pdf>. Acesso em: 03 Set. 2015.

DUZZIONI, A. G. **Avaliação da atividade antioxidante e quantificação dos principais constituintes bioativos de algumas variedades de frutas cítricas**. 2009. 114 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/100948>>. Acesso em: 03 Set. 2015.

FANI, M. Os Antioxidantes. **Foods Ingredients Brasil**, n. 6, 2009. Disponível em: <<http://www.revistafi.com/materias/83.pdf>>. Acesso em: 01 Set. 2015.

MAZARACKI, T. **Limão ajuda na digestão e na dieta**. Disponível em: <<http://www.minhavidacom.br/alimentacao/materias/18128-limao-ajuda-na-digestaoe-na-dieta>>. Acesso em: 01 Set. 2015.

MELO, D. **Oxidação do Asfalto**. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/10EncontroTecnico/12_Oxidacao_do_Asfalto_Dultevir_Melo.pdf>. Acesso em: 01 Set. 2015.

MENARIA, Y.; SANKHLA, R. Use of Waste Plastic in Flexible Pavements - Green Roads. **Journal of Civil Engenharia**, v.5, p.299-311, 2015.

MOGHADDAM, T. B.; KARIM, M. R. Properties of SMA Mixtures Containing Waste Polyethylene Terephthalate. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 6, n. 2, p. 612-622, 2012.

NOGUEIRA, M. G. **Comparação do comportamento em campo de concretos asfálticos com CAP 30-45 e com CAP 50-70 para revestimentos de pavimentos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10112008-120420/pt-br.php>>. Acesso em: 01 Set. 2015.

NORMA DNIT 031/2006 – ES. **Pavimentos flexíveis** - Concreto Asfáltico - Especificação de Serviço. p. 7, 2006.

PEREIRA, V. Limão, um poderoso antioxidante. **Revista dos Vegetarianos**, a. 4, v. 41, 2010. Disponível em: <<http://www.revistavegetarianos.com.br/noticias/limao-um-poderoso-antioxidante/>>. Acesso em: 01 Set. 2015.

REVISTA ADITIVOS & INGREDIENTES. **Os Flavonoides como Antioxidantes**.

Disponível em:

<http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/200.pdf>. Acesso em: 01 Set. 2015.

SADADIWALA, P. H; PATEL, P. P. Utilização de resíduos de plástico em mistura bituminosa. **International Journal Of Advanced Tecnologia em Engenharia e Ciência**, v. 03, n. 1, p.296-300, 2015.

SILVA, P. B.; BERNUCCI, L. L. B.; MOURA, E.; LEITE, L. F. M. **Estudo em laboratório e em campo de misturas asfáltica SMA 0/8S e SMA 0/16**. Disponível em: <<http://www.andit.org.br/vjornada/Trabalho%20Final/Trabalho%20V-014.pdf>>. Acesso em: 03 Set. 2015.

SILVA, R. H. C. **Asfalto modificado por polímero**. Disponível em: <<http://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/16401/1/RAPHAEL%20HENRIQUE%20CLARO%20DA%20SILVA.pdf>>. Acesso em: 03 Dez. 2017.

SOJOBI, A. O; NWOBODO, E. S; ALADEGBOYE, J. O. Reciclagem de polietileno Tereftalato (PET) Resíduos de garrafas plásticas em betão betuminoso asfáltico. **Cogent Engineering**, v.3, p.1-28, 2016.

SULYMAN, M.; HAPONIUK, J.; FORMELA, K. Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Engineering Materials: A Review. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 7, n. 2, p. 100-108, 2016.

TONIAL, I. A. **Influência do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos**. 2001. 248f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Rio de Janeiro, RJ, COPPE-UFRJ, 2001.

TURINI, M. **Aplicação de RPE no estudo de radicais livres me petróleo sob lâmpada de mercúrio**. Disponível

em: <http://www.uel.br/grupopesquisa/meioambiente/fotopetro/arquivos/tcc/marilene_turini.pdf>. Acesso em: 03 Set. 2015.

WHITE, J. R. Polymer Aging: Physics, Chemistry or Enginneering Time to Reflect. **Comptes Rendus Chimie**, v. 9, p. 1396-1408, 2006.

ZANIN, T. **Alimentos ricos em antioxidantes**. Disponível

em: <<http://www.tuasaude.com/alimentos-ricos-em-antioxidantes/>>. Acesso em: 01 Set. 2015.