



AGREGADOS DE GARRAFA PET TORNAM O ASFALTO MAIS RESISTENTE APÓS IRRADIAÇÃO COM LUZ VISÍVEL

COELHO, M.L.¹; RIOS, N.E.²; PEREIRA, M.C.³; CHIARELLI-NETO, O.⁴.

¹Acadêmica de Engenharia Civil - Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC - madeiralisley@gmail.com

²Mestre em Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Docente no curso de Engenharia Civil - Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC - enrios@unesc.br

³Mestre em Educação e Administração - Universidade São Marcos - SP, Coordenador dos Cursos de Engenharia Civil e Mecânica - Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC - cpereira@unesc.br

⁴Doutor em Bioquímica - Universidade de São Paulo - USP, Docente e Pesquisador em Química e áreas afins - Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC - ochiarelli@unesc.br

Palavras-chave: asfalto, resíduo sólido, oxidação solar.

Resumo

Resíduo sólido é um problema ambiental que tem mobilizado a sociedade na busca de soluções para os problemas causados pelo acúmulo. Objetivo aqui foi incorporar agregados de plástico e borracha na mistura asfáltica para investigar a estabilidade e resistência a compressão frente aos danos causados pela irradiação solar. Amostras dos grupos controle (G1), agregados de PET e borracha (G2 a G5) foram submetidas ao ensaio Marshall e resistência à compressão. Os ensaios foram realizados antes e após irradiação com luz visível. Estatística foi realizada pelo programa Origin 7,0 a $p < 0,05$. Os resultados de G5 (PET 1%) foram significativos em relação aos demais grupos. A estabilidade do grupo G5 (1367Kgf) foi a que apresentou significância a $p < 0,05$ em relação a G1 (1218 Kgf). A % de vazios de G5 foi a que apresentou maior proximidade a G1. No ensaio de compressão, G5 apresentou resistência 25% maior (9,7 Mpa) em relação a G1 (7,8 Mpa) após irradiação com luz visível. Nota-se que amostras de G5 apresentaram % de vazios menores em relação a G2, G3 e G4 as quais corresponderam a maior estabilidade (Kgf) e maior resistência a compressão quando irradiadas. Os dados indicam maior estabilidade e resistência de asfalto a 1% de PET após irradiação.

ADDITION OF PET BOTTLE AGGREGATES MAKE THE ASPHALT STRONGER AFTER IRRADIATION WITH VISIBLE LIGHT

Keywords: asphalt, solid waste, sun oxidation.

Abstract

Solid waste is an environmental problem that has mobilized society in search of solutions to the problems caused by accumulation. Aim here was to incorporate plastic and rubber aggregates into the asphalt mixture to investigate the stability and Tension (Mpa) against damage caused by solar irradiation. Samples of the control groups (G1), PET and rubber aggregates (G2 to G5) were submitted to the Marshall parameters and Tension (Mpa). The tests were performed before and after irradiation with visible light. Statistic was performed by the Origin program 7.0 at $p < 0.05$. The results of G5 (PET 1%) were statistically significant in relation to the other groups. The stability of the G5 group (1367 Kgf) presented statistical significance at $p < 0.05$ compared to G1 (1218 Kgf). The empty spaces (%) of G5 was more similar to G1. In the tension, G5 showed 25% greater resistance (9.7 MPa) than G1 (7.8 MPa) after irradiation with visible light. Note that G5 samples had lower empty spaces (%) in relation to G2, G3 and G4 which corresponded to higher stability (Kgf) and resistance (Mpa) when irradiated. The data indicate higher stability and tension of the asphalt 1% PET after irradiation.

INTRODUÇÃO

O asfalto é um ligante betuminoso proveniente da destilação do petróleo utilizado na construção de pavimentos (ARAÚJO, 2013; BERNUCCI et al, 2008). Cuidados nas etapas construtivas tem sido tomados (BERNUCCI et al., 2008; D'ANTONA, 2009, CAVALCANTI, 2010; AHMADINIA et al., 2011). No entanto o crescente número de veículos tem estimulado modificações das propriedades dos asfaltos (BHAGEERATHY, et al, 2014). Por muitas décadas vários pesquisadores têm tentado alterar o asfalto por meio da adição de fibras e borrachas (CHOUBANE et al, 1999; SWAMI et al, 2012). Países europeus bem como o Brasil têm introduzido polímeros na mistura asfáltica desde a década de 70 como importante estratégia de reuso do plástico lançado ao meio ambiente (RAMOS et al., 1995; BERNUCCI et al., 2008; BERNUCCI et al 2008; AHMADINIA et al, 2011; CNT 2016). Dados mostram que a mistura asfáltica com polímeros diminuem as deformações permanentes, trincas por fadiga e aumentam a flexibilidade (SULYMAN et al, 2016), rigidez (AHMADINIA et al, 2012; MOGHADDAM et al, 2012; SADADIWALA, 2015) e durabilidade (SILVA, 2005; ARAÚJO, 2013; MENARIA; SANKHLA, 2015; SOJOBI, 2016).

Apesar das tentativas de melhora do asfalto, espécies reativas de oxigênio (EROs) são geradas por meio da foto-excitação de compostos asfálticos pela luz solar as quais aceleram seu envelhecimento (TONIAL, 2001; WHITE, 2006).

Diante da problemática relacionada ao descarte de lixo sólido e dos danos recorrentes na pavimentação asfáltica, faz-se necessário investigar, por meio de ensaios de estabilidade, parâmetros volumétricos e resistência à compressão, os efeitos do PET e da Borracha na mistura asfáltica no escuro e após irradiação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de química do Centro Universitário do Espírito Santo UNESC - Colatina, e no laboratório de solos do Departamento de Estradas e Rodagem (DER-ES).

Mistura concreto betuminoso usinado a quente

(CBUQ): O traço utilizado na preparação das amostras foi baseado na mistura CBUQ-FAIXA C conforme protocolo do DNIT 031/2006 que se caracteriza: 18,97% de brita 1; 30,36% de brita 0; 43,64% de pó de pedra; 1,90% filler e 5,13% de CAP 50/70. Índice de forma de agregado-ME-86/94: graduação B de $f=0,82$; graduação C de $f=0,84$; graduação D de $f=0,80$ e a média de três de $f=0,82$.

Uma forma de destino dos resíduos sólidos é a incorporação de grânulos de garrafa PET e Borracha de pneus na mistura asfáltica. A incorporação desses materiais foi feita por meio do processo seco, ou seja, aditivo adicionado diretamente na mistura (HUANG et al; 2002).

Agregados de pneus: Os resíduos de borracha de pneus de automóveis foram cedidos por uma Recauchutadora de Colatina-ES. O processamento de obtenção do resíduo de borracha foi executado por meio da raspagem mecanizada do material e posterior vulcanização. O produto gerado (borracha granulada) apresenta alta homogeneidade e mantém muitas das propriedades físicas da composição original, composta por moléculas polares, de mesmo modelo molecular dos asfaltos (ASPHALT INSTITUTE, 1995) e formam a estrutura que fornece as propriedades elásticas, que contribuem para as propriedades viscosas. Existem várias medidas para determinar a quantidade e a granulometria da borracha (SPECHT, 2004) e neste trabalho optou-se pela utilização das partículas de borracha que passam na peneira de 2mm (SANGITA et al 2011).

Agregados de garrafas PET: O Polietileno Tereftalato, também conhecido pelo nome PET, é um polímero termoplástico que possui a capacidade de se tornar fluido com o aquecimento e, após o resfriamento, volta ao seu estado inicial sem nenhuma alteração de propriedade. Essa característica permite que os termoplásticos sejam moldados e reciclados sem afetar suas propriedades físicas (GIRALDI, 2004). Algumas vantagens do PET sobre os outros tipos de termoplásticos são: estabilidade térmica, facilidade de processamento, estabilidade química e hidrolítica, causada pela presença de anéis aromáticos, alta resistência mecânica mesmo a temperaturas elevadas, leveza, brilho e transparência e baixo custo

de produção (ROMÃO et al., 2009). Os resíduos triturados do material PET foram cedidos por uma empresa de Reciclagem de São Carlos – SP. Neste trabalho optou-se pela utilização das partículas de PET que passam na peneira de 4,75mm servindo de reforço para o agregado graúdo da mistura CBUQ (HASSAN et al,2006; CHOUDHARY et al., 2018).

A Para produção dos corpos de prova foi adotado o ensaio Marshall (DNER-ME 043/95), na verificação das condições de vazios, estabilidade e fluência da mistura betuminosa, utilizando moldes de compactação de aço, constituído de anéis superior e inferior e de uma placa base, um soquete de compactação de aço, com 4540gr de massa e uma altura de queda livre de 45,72 cm, e sua face de compactação no pé do soquete plana e circular, papel de filtro circular, espátula de aço, com ponta arredondada, termômetro digital e termômetro de haste metálica com mostrador circular para medir temperaturas da mistura betuminosa. Para retirar a mistura do molde, utilizou-se um extrator de corpo de prova. Na obtenção de dados foi necessária uma estufa capaz de manter até 200°C, balança com capacidade de 5Kg, com resolução de 1g, e capaz de permitir pesagem hidrostática, peneiras de 4,8 e de 2,00 mm. Por fim a prensa Marshall, para medir a fluência e estabilidade das misturas betuminosas.

Amostras: A realização das moldagens dos corpos de prova seguiu o ensaio Marshal, método de ensaio DNER-ME 043 (1995) e as amostras apresentavam 1,2Kg de CBUQ e altura de 63,5 mm (+/-1,3). Todos os grupos (G) foram constituídos com traço padrão. Exceto o grupo controle, os demais foram produzidos adicionando em relação ao peso total da mistura, material polímero sem correção de proporções para manter o peso e com três repetições para cada grupo. Todos as adições corresponderam a um total de 12g de material PET e borracha adicionados. G1, grupo controle constituído apenas pelo traço padrão CBUQ; G2 constituído por traço padrão CBUQ suplementado com 0,5% PET e 0,5% borracha; G3 constituído por traço padrão CBUQ suplementado com 1% PET e 1% borracha; G4 constituído por traço padrão CBUQ suplementado com 1% borracha; G5 constituído por traço padrão CBUQ suplementado com 1% PET. As peneiras utilizadas foram com passante # 4,75mm para

PET e #2mm para borracha.

Método Marshall: Quinze corpos de prova foram produzidos no laboratório do Departamento de Estradas e Rodagem (DER-ES) no método Marshall conforme DNER-ME 043 (1995). O molde de compactação e a base do soquete foram preparados e aquecidos em estufa. Colocou-se o molde em posição no suporte de compactação e introduziu nele uma folha-filtro, cortada conforme a seção do molde. A mistura quente a 160°C foi introduzida no recipiente de alumínio até a massa total de 1,2Kg. Logo após a pesagem foi adicionada e homogeneizada a mistura com quantidade (g) da porcentagem desejada de adição (agregados de PET e borracha). Após esse processo, adicionou a mistura modificada no molde, acomodada com 15 golpes de espátula no interior e ao redor do molde e 10 no centro da massa. O anel superior do molde foi retirado e o alinhamento superficial da mistura foi realizado.

Aplicou-se com o soquete 75 golpes sobre a mistura com altura de queda livre de 45,7 cm. Após esse número de golpes, inverteu-se o lado, e aplicou a mesma quantidade de golpes na outra face. Após 12 horas da compactação retirou-se o corpo de prova do anel mantendo a temperatura ambiente. As medidas das alturas das amostras foram realizadas com o auxílio de um paquímetro.

Determinação da estabilidade e de fluência: Os copos de prova foram colocados em estufa a 60°C, de acordo com DNER-ME 043 (1995). Após tempo de incubação de 2 horas os corpos de prova foram colocados no molde de compressão e posicionados na prensa segundo a geratriz e o medidor de fluência conforme posição de ensaio. A prensa foi operada de tal modo que seu êmbolo se elevava a uma velocidade de 5cm por minuto, até o rompimento da amostra, observado no defletômetro pela indicação de um máximo. A altura desse máximo foi então anotada em Kgf. A carga em Kgf, necessária para produzir o comprimento do corpo de prova foi anotada “como estabilidade lida”. Este valor foi então corrigido para a espessura do corpo de prova ensaiado, multiplicando-se por um fator que é função da espessura da amostra. Os resultados obtidos foram os valores da estabilidade Marshall.

Ensaio de compressão das amostras irradiados com luz visível: Após caracterização no escuro (amostras não irradiadas) pelo ensaio Marshall, todas os grupos (G1 a G5) foram irradiados em irradiador de luz visível por 168 horas ($100\text{W}/\text{m}^2/\text{s}$) produzido nas instalações no laboratório de engenharia civil do UNESC. O irradiador e a dose de luz foram baseados em dados da literatura (Matos et al; 2010; Chiarelli-Neto et al 2014). Vinte e quatro horas após irradiação, os corpos de prova foram posicionados em suporte na máquina EMIC DL30000N e a análise de resistência a compressão foi avaliada até romper o limite de escoamento do material, obtendo-se os dados de força máxima em Mpa.

Análise estatística: Todos os ensaios foram realizados em três repetições sendo análise estatística realizada pelo programa Origin. 7,0 pelo teste t de student a $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reutilização de resíduos sólidos minimiza os impactos ambientais e também diminui a quantidade de matéria-prima utilizada, preservando os recursos naturais e diminuindo os impactos ambientais. A tabela 1 mostra os dados de % de Vazios, Estabilidade Marshall, Peso ao Ar e Volume de todos os grupos aqui investigados. De acordo com a especificação DEINFRA-SC-ES-P-05 a mistura deve ter de 3 a 6% de volume de vazios. Corpos de prova produzidos com borracha e PET (0,5 e 1% - G2, G3) apresentaram maior porcentagem de espaços vazios (5,6 e 7,4) em relação ao grupo controle G1 (3,5) (tabela 1). Quando adicionado apenas a borracha 1% (G4) o efeito da % de vazios também foi aumentado (6,5) (tabela 1). Dentre os grupos desafiados, G5 (5,2) foi o que apresentou % de vazios mais próximas ao controle G1 e dentro do intervalo de especificação DEINFRA-SC-ES-P-05.

Tabela 1 – Características dos corpos de prova: Corpos de prova dos grupos G1 (controle), G2 (PET e borracha 0,5%), G3 (PET e borracha 1%), G4 (borracha 1%), G5 (PET 1%) foram caracterizados em % de vazios, estabilidade Marshall (Kgf), peso ao Ar (g) e volume (cm^3). Os valores abaixo são as médias das triplicatas com os respectivos desvios padrão (sd +/-).

Característica das amostras	G1	G2	G3	G4	G5
% de Vazios	3,5 +/-0,6	5,6 +/-0,4	7,4 +/-0,7	6,5 +/-0,4	5,2 +/-0,2
Estabilidade (Kgf)	1218,5 +/-61	1250,0 +/-35	1196,0 +/-53	1194,3 +/-30	1367,0 +/-2,5
Peso ao Ar (g)	1218,0 +/-4,7	1205,4 +/-5,8	1233,4 +/-18	1199,0 +/-4,2	1210,9 +/-4,7
Volume (cm^3)	502,5 +/-3,6	508,7 +/-2,0	530,2 +/-0,9	510,4 +/-4,1	508,8 +/-2,6

Nota-se portanto a inviabilidade das amostras G3 e G4 por apresentarem % de vazios acima da especificação DEINFRA-SC-ES-P-05. A elevada % de vazios pode levar a oxidação excessiva do ligante betuminoso. A irradiação solar excita moléculas fotossensíveis do asfalto que em contato com oxigênio molecular ($^3\text{O}_2$), em altas concentrações nos espaços vazios, promovem a geração fotoquímica de oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$) reativo e por sua vez a oxidação asfáltica (SEVERINO 2001) reduzindo significativamente a vida útil do pavimento (ODA, 2000). Por isso da inviabilidade na mistura com esses teores as quais podem acelerar o processo de envelhecimento asfáltico. AWWAD e SHBEEB (2007) estudaram o comportamento do ligante modificado com polietileno (PE). Eles avaliaram o comportamento dos polietilenos de baixa densidade (PEBD) e os polietilenos de alta densidade (PEAD). A pesquisa revelou que o segundo tipo apresentou melhor comportamento, com teor ótimo de 12% em massa relacionado ao asfalto utilizado na mistura. As misturas compactadas com o ligante modificado apresentaram melhora na estabilidade, redução da densidade e um pequeno aumento do volume de vazios (Vv) e volume de agregados minerais (VAM). Neste trabalho, a mistura asfáltica com apenas 1% PET (grupo G5) apresentaram benefícios similares aos descritos por AWWAD e SHBEEB (2007). Nossos dados correlacionam com AWWAD e SHBEEB (2007) sendo notável os valores da estabilidade de G5 (1367 Kgf) com significância estatística em relação aos demais grupos (tabela 1). Os dados de peso ao Ar e Volume das amostras de todos os grupos não apresentaram variações estatisticamente significativas (tabela 1). MOGHADDAM et al. (2012) investigaram a possibilidade de utilizar PET triturado nas misturas

asfálticas no tipo SMA (Stone Matrix Asphalt). A resistência à tração diminuiu com o aumento de teor de PET na mistura, mas a vida de fadiga aumentou significativamente com o aumento de porcentagem de PET. Esses dados dentre outros, suportam o uso dos agregados PET 1% em nosso trabalho dos quais apresentaram menor % de vazios e maior Estabilidade (Kgf) (tabela 01) e que pode ocasionar melhorias em relação à deformação permanente (SONCIM et al, 2004; AWWAD e SHBEEB, 2007; MOGHADDAM et al, 2012). Isso porque os asfaltos modificados por polímeros 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). Essa tendência também ocorre na adição de polímeros diretamente na mistura asfáltica. Fundamentalmente, o reforço com fibras aumenta a resistência e melhora o comportamento das misturas asfálticas em relação à fadiga (ABTAHI et al., 2010).

Assim como este trabalho, muitos resíduos plásticos tem sido utilizados como uma forma de reforço asfáltico. E nossos dados apontam para isso (estabilidade de 1367 Kgf em G5). Além da pavimentação asfáltica, a utilização de PET tem sido empregada como reforço de sub-base. Foram adicionados 30% de PET em peso em um solo considerado inapropriado para base e sub-base de pavimentos. As características do solo melhoraram e sua classificação aumentou para um solo apropriado (SONCIM et al. 2004). CONSOLI et al. (2000) também conduziram um experimento para avaliar o comportamento mecânico de uma areia cimentada reforçada com resíduos plásticos, avaliando os efeitos da inserção de fibras de PET distribuídas aleatoriamente. Foi concluído que o PET aumentou a resistência pico e a resistência à tração, além de diminuir o caráter frágil da matriz cimentada e não mudar a rigidez das misturas estudadas.

Embora muitos estudos tem relatado o efeito positivo quanto a estabilidade, % de vazios na aplicação de agregados de PET na mistura asfáltica, a literatura ainda carece de informações quanto aos efeitos da irradiação visível no pavimento suplementado com

PET. Os dados da tabela 2 mostram os valores (em triplicata) da resistência a compressão (Mpa) de todas as amostras após irradiação visível (400 a 700 nm).

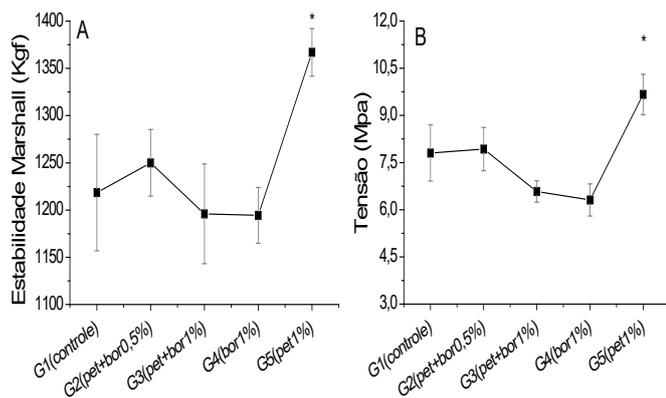
Tabela 2 – Resistência a compressão pós-irradiação: Corpos de prova dos grupos G1 (controle), G2 (PET e borracha 0,5%), G3 (PET e borracha 1%), G4 (borracha 1%), G5 (PET 1%) foram produzidos em triplicata e submetidos ao teste de resistência à compressão (Mpa). Os valores de média e desvio padrão (sd +/-) estão representados na tabela.

Corpos de Prova	G1	G2	G3	G4	G5
Corpo de prova 1	7,1	7,5	6,8	5,8	9,5
Corpo de prova 2	8,8	7,6	6,2	6,3	9,1
Corpo de prova 3	7,5	8,7	6,7	6,8	10,4
Média	7,8	7,9	6,6	6,3	9,7
	+/-0,9	+/- 0,7	+/-0,3	+/-0,5	+/-0,6

Todas as amostras foram expostas a mesma dose de luz e avaliadas quanto ao ensaio de compressão realizado após a irradiação visível. Amostras G1, G2, G3, G4 e G5 apresentaram valores de resistência à compressão de 7,8; 7,9; 6,6; 6,3; e 9,7 Mpa respectivamente após irradiação (tabela 2). Nota-se que a resistência à compressão das amostras asfálticas contendo apenas 1% de PET (G5) foi maior dentre as demais amostras analisadas, apresentando valores 25% maiores (média de 9,7 Mpa) em relação ao grupo controle (G1) (média de 7,8 Mpa) (Tabela 2 – G5). Dados da literatura tem mostrado que teores maiores dos agregados de borracha e PET apresentaram diminuição da qualidade do material (MOGHADDAM et al. 2012) e os dados de resistência a compressão pós irradiação visível aqui mostrados apresentaram estar relacionados (6,6 Mpa para G3 e 6,3 Mpa para G4).

Os gráficos A e B foram construídos para melhor ilustrar a curva de Estabilidade Marshall (Kgf) e da resistência à compressão (Mpa) dos corpos de prova antes e após a irradiação bem como confirmação das significâncias estatísticas do grupo G5 (figura 1).

Figura 1.A. Estabilidade Marshall feita antes do processo de irradiação das amostras. B. Resistência à compressão das amostras após irradiação.* representa significância estatística a $p < 0,05$ pelo teste de hipótese t de student.



O gráfico 1A mostra o benefício quanto a estabilidade das amostras com PET 1% e o gráfico 1B o efeito positivo da irradiação visível nas mesmas. Análise estatística realizada pelo teste t de Student mostrou maior estabilidade em G5 (asterisco da figura 1A) o que corresponde 12% a mais de estabilidade em relação as amostras controle G1. O mesmo teste estatístico aplicado após irradiação, mostrou também maior resistência à compressão para G5 (asterisco da figura 1B) correspondendo a um aumento de 24% da resistência em relação a G1. Ambos ensaios apresentaram significância estatística $p < 0,05$ para G5 em relação aos demais grupos.

Os dados da figura 1B abrem uma nova janela de pesquisa para fotoquímica em asfalto suplementados com agregados de resíduos PET.

CONCLUSÃO

A adição de resíduos sólidos como agregados de garrafa PET 1% a uma mistura convencional de CBUQ indica possível potencial de melhoria na qualidade da pavimentação asfáltica. O grupo G5 apresentou maior estabilidade Kgf e maior proximidade a G1 em relação a % de vazios comparado com os demais grupos investigados. No ensaio de compressão após irradiação, G5 apresentou resistência 25% maior em relação a G1 e demais grupos desafiados. Asfaltos suplementados com 1% de PET tornaram-se mais resistentes quando submetidos à faixa do visível o que aponta haver durabilidade maior nessa mistura quando submetida a reações fotoquímicas da luz visível do sol.

AGRADECIMENTO

Ao Técnico Glauber Araújo Calavorty do Departamento de Estrada e Rodagem -DER-ES pelo auxílio no Ensaio Marshall.

LITERATURA CITADA

ABTAHI, S. M.; SHEIKHZADEH, M.; HEJAZI, S. M. Fiber-reinforced asphalt-concrete – A review. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 871-877, 2010

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

AHMADINIA, E.; ZAGAR, M.; KARIM, M. R.; ABDELAZIZ, M. Performance evaluation of utilization of waste polyethylene terephthalate (PET) in Stone mastic asphalt. *Construction and Building Materials*, v.36, p. 984-989, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. Manual Básico de Emulsões Asfálticas. Rio de Janeiro, 2001.

ASPHALT INSTITUTE. Performance graded asphalt binder specification and testing - SP-1, Lexington, KY, 1995.

AWWAD, M. T.; SHBEEB, L. The use of polyethylene in hot asphalt mixtures. *American Journal of Applied Sciences*, v. 4, n. 6, p. 390-396, 2007.

BERNUCCI, L. B. et all. Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros. PETROBRAS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2008.

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*, Vol.3, No.6, pp.89-91, agosto de 2014.

CAVALCANTI, L. Efeito de Alguns Modificadores de Ligante na Vida de Fadiga e Deformação Permanente de Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2010.

CONSOLI, N. C.; MONTARDO, J. P.; PRIETTO, P. D. M. Comportamento mecânico de uma areia cimentícia reforçada com resíduos plásticos. Seminário Nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais SMA. São Paulo, 2000.

- CHIARELLI-NETO, O; FERREIRA, A.S; MARTINS, W.K; PAVANI, C; SEVERINO, D; FAIÃO-FLORES, F. et al. Melanin Photosensitization and the Effect of Visible Light on Epithelial Cells. PLoS ONE 9(11): e113266. 2014.
- CHOUDHARY, R; KUMAR, A AND MURKUTE, K. Properties of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Modified Asphalt Mixes: Dependence on PET Size, PET Content, and Mixing Process. Period. Polytech. Civil Eng., 10797. 2018.
- CHOUBANE, B.; SHOLAR, G.A.; MUSSELMAN, J.A.; PAGE, G.C. Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt Rubber Surface Mixes. Transportation Research Record N° 1681, Washington, D.C., p.10-18, 1999.
- D'ANTONA, D. M. G. Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado por Polímero EVA e Resíduo da Construção Civil para as Vias Urbanas de Manaus. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, 2009.
- DEINFRA. Especificações de Serviço Rodoviário. Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina, 2016.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME 043/95. Misturas Asfálticas a Quente – Ensaio Marshall: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1995
- EMMANUELLE, M; VASCONCELOS, M; RAIMUNDO, N. C. D; VIRGÍNIA, M. D. A. Estudo comparativo da refletância à radiação solar para duas superfícies distintas: asfalto e grama esmeralda (zoysia japonica). ENTAC 2010. Pag 1-10.
- GIRALDI, A. L. F. de M. ; Dávila, M. A.; MEI, L. H.I. Influência das variáveis processamento e interações interfaciais nas propriedades mecânicas de compósitos de PET reciclado. Revista Projeções-Projeções, v. 21/22,p. 59-63, jan./dez. 2003/2004 – Editora USE
- HASSAN, A.; GANJIDOUST, H.; MAGHANAKI, A. A. Use of plastic waste (polyethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregates replacement. J. Waste Managements and Research, v. 23, n. 4, p.322-327, 2005.
- PETERSEN, J; HANSBERGER, P. Asphalt Aging: Dual Oxidation Mechanism and Its Interrelationships with Asphalt Composition and Oxidative Age Hardening. Transportation Research Board. V. 1638. p. 47-55, 1998.
- HUANG, B ; MOHAMMAD, L; GRAVES, P S; ABADIE, C. Louisiana Experience with Crumb Rubber-Modified Hot-Mix Asphalt Pavement. January 2002. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1789(1) DOI 10.3141/1789-01.
- MENARIA, Y; SANKHLA, R, “Uso de resíduos de plástico em pavimentos flexíveis - Estradas verdes”, Open Journal Of CivilEngenharia, Vol.5, pp.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, p. 612-622, 2012.
- ODA, S. Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação. 2000. 200 - 250 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000.
- PESQUISA DA CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE (CNT) 2016- Relatório Geral, 343.
- ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. Poli(Tereftalato de Etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19; n. 2; p. 121- 132, 2009.
- RAMOS, C.R et al. Curso de ligantes asfálticos. IBP, 114 p. 1995
- RODRIGUES, J.F. Obtenção e caracterização de blendas de CAP 20 modificadas compoliestireno reciclado e resíduos de pneu – 2006-105f. Área de concentração: Análise e seleção de materiais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escolade Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais.
- SADADIWALA, P. H; PATEL, P. P, “Utilização de resíduos de plástico em mistura bituminosa”, International Journal Of Advanced Tecnologia em Engenharia e Ciência, Vol. 03, edição especial nº 01, pp.296-300, março de 2015.
- SANGITA, KHAN, T.A,BABINA e SHARMA, D.K. Effect of waste polymer modifier on the properties of betuminous concrete mixes, contrution and bulding materils.V. 25, p.3841-3848,2011.
- SEVERINO, D. Fotoquímica e fotofísica de oxigênio singlete em petróleo. Tese de Doutorado. Instituto de Química da UFRJ. Rio de Janeiro, 2001.
- SILVA, P. B. Estudo em Laboratório e em Campo de Misturas Asfáltica SMA 0/8S. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 2005.
- SOJOBI, A. O; NWOBODO, E. S; ALADEGBOYE, J. O, “Reciclagem de polietileno Tereftalato (PET) Resíduos de garrafas plásticas em betão betuminoso asfáltico”, Cogent Engineering, Vol.3, pp.1-28, 2016
- SNICESP. Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo. Boletim Técnico, Edição nº 7.
- SONCIM, S. P.; JUNIOR, G. B. A.; ALMEIDA, M. O.; JUNIOR, M. J. F.; ALMEIDA, S. G.; VIDAL, F. X. R. Resíduo de reciclagem de PET (Polietileno Tereftalato) como material alternativo na construção de reforço de subleitos de rodovias. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, Book of Abstract, São Paulo, 2004
- SPECHT, L.P. Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus. 2004. Tese de Doutorado. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

SWAM, V; JIRGE, A; PATIL, K; PATIL, S; PATIL, S; SALOKHE, K, “Uso de resíduos de plástico na construção De Via Bituminosa “, *International Journal Of Engineering Science and Technology*, Vol. 4, No.5, pp.2351-2355, maio de 2012.

TONIAL, I.A. Influência do Envelhecimento do Revestimento Asfáltico na vida de Fadiga de Pavimentos.2001. Tese de Mestrado. Sc. Rio de janeiro : Coppe-RJ.

WHITE, J.R. Polymer Aging: Physics, Chemistry or Engineering Time to Reflect. *Comptes Rendus Chimie*. vol. 9, pp. 1396-1408, 2006.