

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL POLIMÉRICO NA OBTENÇÃO DE ASFALTO MODIFICADO

Tereza Neuma de Castro Dantas¹ (UFRN), Afonso Avelino Dantas Neto (UFRN)¹, Maria Carlenise Paiva de Alencar Moura¹ (UFRN), Cristian Kelly Moraes de Lima (UFRN)¹, Gildson Bastos Felix (UFRN)¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN/PPGEQ – Campus Universitário – 59.072-970 – Natal/RN, Brasil
Fone: (84) 32153773 - Fax: (84) 32153156
e-mail: carlenise@eq.ufrn.br; tereza@eq.ufrn.br

Com a crescente utilização das rodovias, principalmente em nosso país, e com o aumento quantitativo do trânsito, faz-se necessário o desenvolvimento de pavimentos asfálticos mais resistentes à deformação permanente e a susceptibilidade térmica. As misturas betuminosas utilizando o asfalto convencional nem sempre apresentam o desempenho desejável. Com o intuito de melhorar as propriedades do asfalto, têm sido realizadas algumas práticas, tais como a incorporação de modificadores no asfalto. Dentre os modificadores estudados, pode-se destacar o uso de polímeros e borracha de pneu moída. O crescente volume de resíduos poliméricos deve-se a fatores como: crescimento populacional, aumento do poder aquisitivo da população e maior utilização das embalagens plásticas devido à facilidade de transporte, distribuição e conservação dos produtos. Neste trabalho um resíduo industrial polimérico foi incorporado ao cimento asfáltico de petróleo (CAP) visando elevar suas propriedades viscoelásticas, tornando-o mais resistente as cargas de tráfego. Um asfalto com penetração 50/60 (CAP 50/60) foi empregado nesta pesquisa, gentilmente cedido pela LUBNOR – Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (produzido na Fazenda Belém - Aracati-Ceará). Iniciou-se a pesquisa com a caracterização do resíduo industrial, cedido por uma fábrica de botões localizada no Rio Grande do Norte, sendo este classificado como um poliéster insaturado. Em seguida, foram realizados experimentos de incorporação do resíduo ao asfalto, de acordo com um planejamento fatorial 2³, tendo como fatores o teor de polímero (min-2%, max-14%), a temperatura de incorporação (min- 140 °C, max 180 °C) e o tempo de incorporação (min- 20min, max- 60min). Os resultados obtidos em ensaios de penetração, ponto de amolecimento, ponto de fulgor e viscosidade mostraram que a adição do polímero ao ligante asfáltico melhora suas propriedades viscoelásticas, sendo uma alternativa viável para a resolução de um sério problema ambiental, uma vez que esse resíduo é produzido em grande quantidade e armazenado em aterro sanitário.

Palavras chaves: asfalto modificado, polímero, resíduo industrial, meio ambiente.

1. INTRODUÇÃO

O asfalto é um dos mais antigos materiais presentes na natureza, tendo encontrado utilização desde o início da civilização. Ele é constituído de uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e naftênicos, com pequenas quantidades de ácidos orgânicos, bases e componentes heterocíclicos contendo oxigênio, nitrogênio, enxofre (O, N, S) e quantidades traço de metais, principalmente o vanádio e o níquel. O ligante asfáltico é um material viscoelástico que apresenta grande capacidade adesiva e resistência à ação da água. Seu baixo custo, grande disponibilidade e propriedades têm feito o seu uso extensivo em muitas aplicações, principalmente na construção e manutenção de estradas (Al-Abdul Wahhab *et al.*, 1998, Instituto do Asfalto, 2002). Com o propósito de melhorar as propriedades do asfalto, ele é frequentemente misturado com polímeros, que são macromoléculas formadas de unidades estruturais menores (Yildirim, 2007). Sua modificação pela adição de polímero produz um novo material denominado asfalto polimérico (PMA), constituindo um material de elevado comportamento viscoelástico (Vlachovicova *et al.*, 2007). De acordo com Pollaco *et al.* (2005) o polímero adicionado pode elevar as propriedades do ligante e permitir a construção de estradas seguras, reduzindo, também, custos com manutenção. Nesta pesquisa um resíduo industrial polimérico foi incorporado ao cimento asfáltico de petróleo (CAP) visando elevar suas propriedades viscoelásticas, tornando-o mais resistente as cargas de tráfego, e resolvendo um sério problema ambiental relacionado à deposição deste resíduo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Tentativas de melhorar a qualidade de ligantes asfálticos com relação a sua susceptibilidade térmica têm sido feitas por muitos autores (Vlachovicova *et al.*, 2007; Pollaco *et al.*, 2004, 2005; Stastna *et al.*, 2003; Oda e Fernandes Júnior, 2001; Botaro *et al.*, 2006; Jin *et al.*, 2002; Ruan *et al.*, 2003; Wen *et al.*, 2002). Por outro lado, nos anos recentes, grandes quantidades de resíduos de materiais poliméricos têm sido geradas por diversas atividades industriais, sendo sua utilização como modificadores de asfalto uma alternativa atrativa, reduzindo custos de disposição final (aterros) e evitando potenciais problemas de contaminação ambiental (Hinislioğlu e Açar, 2004).

Já se sabe que a adição de polímeros aos ligantes asfálticos pode melhorar seu desempenho. Hınıslioğlu e Açar (2004) ressaltam que as condições de mistura do asfalto ao polímero têm efeito considerável no comportamento do asfalto polimérico, destacando-se a temperatura e o tempo de mistura e a quantidade de agente modificador. De acordo com Polacco *et al.* (2005), a baixa compatibilidade entre o asfalto e o polímero pode conduzir a separação de fases quando o asfalto polimérico é armazenado a temperaturas elevadas e sem mistura. Estes autores utilizaram vários tipos de polietileno e copolímeros polietileno para modificar um CAP 70/100 e observaram a instabilidade de armazenagem quando estocados a 180 °C durante 72 horas. Amostras do fundo e do topo dos recipientes foram retiradas e analisadas para verificar o ponto de amolecimento (anel e bola) Estes autores concluíram que, em todos os casos, o asfalto modificado apresentava uma estrutura heterogênea e estava sujeito a instabilidade quando estocado.

Stastna *et al.* (2003) ressaltam que misturas de asfalto e polímero constituem sistemas multifásicos contendo uma fase rica em polímero, uma fase rica em asfaltenos não adsorvidos pelo polímero e uma fase formada por maltenos. Estas fases existem em um equilíbrio metaestável que, do ponto de vista termodinâmico, sempre tendem a separar. Se as fases irão separar ou não é principalmente uma condição cinética, que assume importância em períodos de longa armazenagem a altas temperaturas, o que resulta em uma redução na viscosidade, propiciando a separação de fases (Pollaco *et al.*, 2006).

As propriedades das misturas polímero-asfalto dependem da concentração e do tipo de polímero usados. O uso do polímero normalmente começa a ser significativo a concentrações de 4-6%, mas a concentração de polímero deve ser feita de forma cuidadosa para evitar a formação de um gel de asfalto quando grandes quantidades são aplicadas (Pollaco *et al.*, 2004). De acordo com Yildirim (2007) as características desejáveis de asfaltos poliméricos incluem maior recuperação elástica, pontos de amolecimento mais elevados, maior viscosidade, grande força coesiva e maior ductilidade.

3. METODOLOGIA

Nesta pesquisa foi empregado um CAP 50/60, cedido pela LUBNOR – Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Fortaleza/Ce), a qual processou o petróleo oriundo da Fazenda Belém, localizada no município de Aracati/CE. O resíduo polimérico empregado foi cedido por uma fábrica de botões localizada no Rio Grande do Norte. O material é constitui de aparas ou rebarbas do processo de moldagem de botões.

3.1 – Preparo do polímero

O polímero foi fornecido pela empresa na forma de grãos (Figura 1-a). Para facilitar a mistura no asfalto e evitar qualquer contaminação, a amostra foi lavada, seca em estufa (40 °C – 4h) e em seguida triturada (Figura 1-b). Após este procedimento realizou-se uma análise granulométrica.



Figura 1. Resíduo polimérico (a) como recebido e (b) após moagem.

3.2 - Incorporação do polímero

O CAP 50-60 foi modificado pela adição de 2 e 14% de polímero, nas temperaturas de 140 e 180°C e nos tempos de 20 e 60 minutos (2000 rpm). A Figura 2 mostra o aparato experimental empregado nesta etapa. Inicialmente, o asfalto foi aquecido em estufa a 120°C e o polímero a 50°C, ambos por 1 hora. Transferiu-se o asfalto para a panela elétrica deixando permanecer em aquecimento até que a temperatura desejada fosse atingida (140°C ou 180°C). O polímero foi adicionado ao asfalto em baixa velocidade de agitação (500rpm) elevando-se,

em seguida, para 2000 rpm. Deixou-se em agitação durante o tempo requerido (20 ou 60 minutos) e, em seguida, as amostras foram armazenadas em recipientes de alumínio.



Figura 2. Sistema utilizado na modificação do CAP.
(1) Agitador magnético (Fisatom modelo 713D)
(2) Panela elétrica
(3) Termômetro digital (Salvterm 700k – Salcas)

Os experimentos correspondentes a esta etapa foram realizados de acordo com um planejamento experimental 2³. A Tabela 1 mostra os fatores do planejamento experimental e na Tabela 2 são apresentadas as condições experimentais para cada ensaio.

Tabela 1. Fatores empregados no planejamento experimental.

FATORES	UNIDADES	NÍVEL (-)	NÍVEL (+)
Temperatura	°C	140	180
Quant polímero	%	2	14
Tempo de mistura	minutos	20	60

Tabela 2. Planejamento experimental para incorporação do resíduo polimérico ao CAP.

Ensaio	T (°C)	Polímero (%)	Tempo de mistura (min)
1	140	2	20
2	140	2	60
3	140	14	20
4	140	14	60
5	180	2	20
6	180	2	60
7	180	14	20
8	180	14	60

3.3 – Caracterização do asfalto modificado

Para a caracterização do asfalto polimérico foram realizados os seguintes ensaios:

Ensaio de penetração - este ensaio tem por objetivo medir a consistência do material asfáltico, através da distância medida em décimos de milímetros que uma agulha padronizada penetra na amostra sob condições específicas. As condições de ensaio foram as seguintes: carga de 100g, temperatura de 25°C e tempo de 5 segundos. O equipamento utilizado foi um penetrômetro universal Pavitest, divisão em 1/10mm. O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 6576 de 2007.

Ensaio de ponto de fulgor – foi realizado de acordo com a ABNT NBR 11341/2004. Este ensaio determina a temperatura a partir da qual há uma tendência da amostra formar uma mistura inflamável com o ar, na presença de uma chama e sob condições laboratoriais controladas. É um ensaio bastante útil, pois permite avaliar se o asfalto está contaminado com algum solvente, já que estes têm um ponto de fulgor menor, além de prevenir sobre o risco de inflamabilidade do material. O equipamento utilizado foi o Petrotest (Modelo 12-1660).

Viscosidade Saybolt Furol - realizado de acordo com a ABNT NBR 14950/2003, para materiais betuminosos. Esta viscosidade é obtida através do escoamento de 60mL da amostra em fluxo contínuo, através do orifício Furol, sob condições específicas. Os ensaios foram realizados na temperatura de 135°C, sendo feitas três medidas para cada amostra, com o intuito de obter um resultado confiável. O equipamento utilizado foi um viscosímetro Saybolt Pavitest Novus N480D.

Ensaio de ponto de amolecimento (método do anel e bola) – realizado de acordo com a ABNT NBR 6560/2000, para materiais betuminosos. Este ensaio visa determinar a temperatura no momento em que uma esfera metálica padronizada, envolvida por material betuminoso, toca uma placa de referência após ter percorrido uma distância de 25,4mm sob condições específicas. O ensaio foi realizado sob as seguintes condições: aquecimento em estufa por 30 minutos, temperatura do banho igual a 5°C por 15 minutos e aquecimento num aquecedor elétrico com taxa de 5°C/min. Foi utilizado um aparelho para ponto de amolecimento de material betuminoso Deltex – 1.586-D.

4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização do resíduo polimérico

Foi realizada uma análise granulométrica do material como recebido da indústria. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3. Distribuição granulométrica do resíduo polimérico como recebido da indústria.

Malha ASTM	Abertura	Massa retida - %	
		Ensaio 1	Ensaio 2
270	53 µm	0,1221	0,0620
140	106 µm	0,3293	0,1702
70	212 µm	0,5376	0,2787
40	425 µm	2,7718	1,8948
20	850 µm	1,2834	1,0074
18	1,0 mm	5,5173	4,7499
14	1,40 mm	15,5855	13,4097
8	2,36 mm	56,4615	60,4733
5	4,00 mm	16,9479	17,4758
3,5	5,60 mm	0,2708	0,1925
	Total	99,8272	99,7143

Observa-se que aproximadamente 90% do material encontra-se na faixa granulométrica entre 1,40mm e 4,00mm, sendo considerada de difícil incorporação ao ligante asfáltico. Para os ensaios de incorporação foi realizada uma moagem visando reduzir o material a um pó, sendo realizada nova caracterização granulométrica. A Tabela 4 mostra a distribuição granulométrica após a moagem.

Tabela 4. Distribuição do resíduo polimérico após moagem.

Malha ASTM	Abertura	Massa retida (%)		
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
400	38µm	0,2	0,19	0
325	45µm	0,2822	0,2567	0,4977
270	53µm	6,56	5,0666	6,8244
140	106µm	10,1205	10,1892	9,9135
70	212µm	19,9388	18,3784	18,9077
40	425µm	44,8823	46,3261	45,6766
20	850µm	6,0952	6,1421	5,6918
18	1 mm	7,6058	8,0212	8,0389
14	1,4mm	2,2227	2,4499	2,1174
08	2,36mm	0,7798	0,9029	0,984
	Total	98,6873	97,9231	98,6520

Verifica-se que aproximadamente 75% do resíduo polimérico encontra-se na faixa granulométrica entre 106µm e 425µm.

Visando identificar de que tipo de polímero era constituído o resíduo de botões, foi feita uma espectroscopia no Infravermelho (FTIR). Conforme verificado através do espectro apresentado na Figura 3, trata-se de resina de poliéster insaturada.

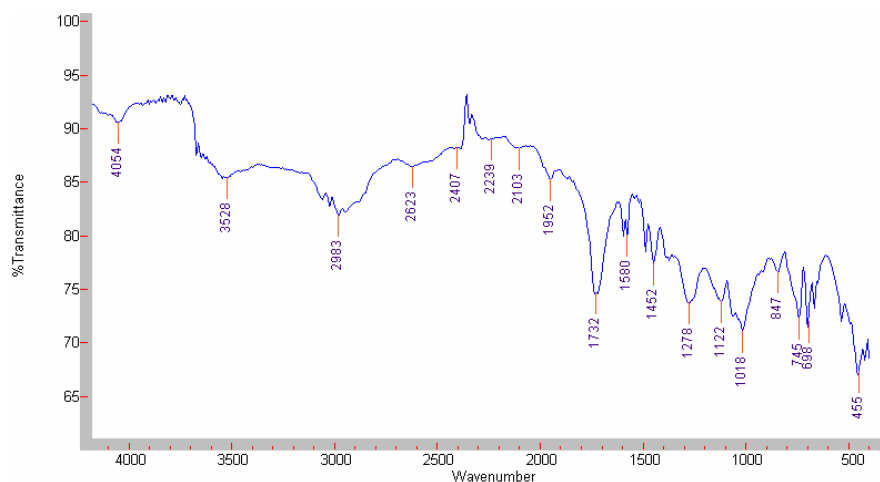


Figura 3. Espectroscopia no Infravermelho (FTIR) do resíduo polimérico.

4.2 – Propriedades do asfalto modificado com o resíduo polimérico

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios realizados visando caracterizar os asfaltos poliméricos obtidos de acordo com o planejamento experimental 2³. Foi realizado um experimento sem a adição do polímero na temperatura mais elevada com intuito de verificar se haveria modificação nas características do CAP 50/60.

Tabela 5. Caracterização dos asfaltos poliméricos obtidos de acordo com o planejamento experimental 2³.

Ensaio	Temperatura de mistura (°C)	Teor de polímero (%)	Tempo de mistura (min)	Viscosidade (SSF)	Ponto de fulgor (°C)	Penetração (1/10mm)	Ponto de amolecimento (°C)
Branco	180	0	60	222,00	299,7	56,50	51,1
1	140	2	20	246,00	250,8	58,66	52,9
2	140	2	60	261,66	262,9	51,66	53,5
3	140	14	20	455,66	224,8	51,75	51,45
4	140	14	60	519,66	214,9	52,33	50,85
5	180	2	20	232,00	258,9	57,33	50,9
6	180	2	60	251,66	244,6	50,33	51,6
7	180	14	20	472,33	234,6	51,50	50,85
8	180	14	60	565,66	227,8	50,12	55,8

4.2.1 - Ensaio de penetração

O resultado esperado é que a adição do polímero torne o asfalto mais viscoso, resultando em valores mais baixos de penetração. Conforme valores apresentados na Tabela 5, verifica-se que com 2% de polímero esta redução só foi efetiva quando o tempo de contato foi de 60 minutos, independente da temperatura do experimento. Nos ensaios utilizando 14% do polímero observa-se uma redução da penetração em quase todos os pontos. Este resultado é importante por indicar uma maior rigidez do material obtido, implicando em um pavimento mais resistente as cargas do trânsito.

4.2.2 – Ponto de fulgor

Os resultados obtidos (Tabela 5) mostram que o ponto de fulgor diminui significativamente com a adição do polímero, principalmente nas amostras com 14% de polímero e tempo de mistura de 60 minutos. Para o CAP

sem polímero o ponto de fulgor foi de 299,7°C, reduzindo para 244,6°C com 2% de polímero e 214,9°C para o CAP com 14% de polímero. Estas diferenças entre os resultados é um indicativo de que o polímero foi realmente incorporado ao asfalto, modificando assim algumas de suas propriedades.

4.2.3 – Viscosidade Saybolt Furol

De acordo com Oda e Fernandes Júnior (2001) a temperatura dos ligantes asfálticos a 135°C serve para prover informações sobre a melhor temperatura de mistura em usina e de lançamento e compactação no campo. Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que a viscosidade do ligante asfáltico aumentou com o acréscimo do polímero e com o tempo de mistura, dependendo menos da temperatura do experimento.

4.2.4 - Ensaio do ponto de amolecimento (Método anel e bola)

De acordo com Botaro *et al.* (2006) o ensaio de anel e bola visa medir a evolução da consistência da amostra em função da temperatura, podendo ser correlacionada com a dureza do material. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5 conclui-se que não houve mudanças significativas do asfalto modificado em relação ao ponto de amolecimento. O desejado era que houvesse um aumento do ponto de amolecimento, pois o aumento do ponto de amolecimento indica um aumento na resistência à deformação permanente das misturas contendo asfalto modificado.

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a adição do resíduo polimérico industrial ao ligante asfáltico resulta em alterações nas propriedades viscoelásticas do CAP 50/60, obtendo-se um novo material com maior viscosidade e resistência. O percentual de polímero apresenta a maior influência, seguido pelo tempo de mistura e pela temperatura de mistura. Outros ensaios são necessários para indicar mudanças na resistência mecânica do material obtido, porém os resultados preliminares indicam ser esta uma solução viável para resolver o sério problema ambiental gerado pelo pela presença do resíduo polimérico.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq - CTPetro pelo suporte financeiro e ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH – ANP 14) pelas bolsas dos alunos envolvidos na pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- AL-ABDUL WAHHAB, H.I.; AL-DUBABE, I.A.; ASI, I.M.; ALI, M.F. Performance-based characterization of Arab asphalt. **Building and Environment**. Great Britain: v.33(6), p.375-383, 1998.
- BOTARO, V.R.; CASTRO, S.R.; RODRIGUES JÚNIOR, F.; CERANTOLA, A. Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina orgassolve. **Metalurgia & Materiais**. Brasil: v.59(1), p. 117-122, 2006.
- HINISLIOĞLU, S.; AĞAR, E. Use of waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix. **Materials Letters**. USA: v.58, p.267-271, 2004.
- INSTITUTO DO ASFALTO. **Manual do Asfalto**. Brasil: MS-4, 2002.
- JIN, H.; GAO, G.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, K.; FAN, Y. Improved properties of polystyrene-modified asphalt through dynamic vulcanization. **Polymer Testing**. USA: v.21, p.633-640, 2002.
- ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. **Acta Scientiarum**. Brasil: 23(6), p.1589-1599, 2001.
- POLLACO, G.; BERLINCIONI, S.; BIONDI, D.; STASTNA, J.; ZANZOTTO, L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers. **European Polymer Journal**. England: v.41, p.2831-2844, 2005.
- POLLACO, G.; STASTNA, J.; BIONDI, D.; ANTONELLI, F.; VLACHOVICOVA, Z.; ZANZOTTO, L. Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers. **Journal of Colloid and Interface Science**. USA: v.280, p.366-373, 2004.
- POLLACO, G.; STASTNA, J.; BIONDI, D.; ANTONELLI, F.; ZANZOTTO, L. Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts. **Journal of Colloid and Interface Science**. USA: v.11, p.230-245, 2006.
- RUAN, Y.; DAVISON, R.R.; GLOVER, C.J. The effect of long-term oxidation on the rheological properties of polymer modified asphalts. **Fuel**. USA: v.82, p.1763-1773, 2003.

- STASTNA, J.; ZANZOTTO, L.; VACIN, O.J. Viscosity function in polymer-modified asphalts. **Journal of Colloid and Interface Science**. USA: v.259, p. 200-207, 2003.
- VLACHOVICOVA, Z.; WEKUMBURA, C.; STASTNA, J.; ZANZOTTO, L. Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styrene copolymer. **Construction and Building Materials**. USA: v.21, p. 567-577, 2007.
- WEN, G.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, K.; FAN, Y. Rheological characterization of storage-stable SBS-modified asphalts. *Polymer Testing*. USA: v.21, p.295-302, 2002.
- YILDIRIM, Y. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. USA: v.21(3), p.66-72, 2007.

USE OF A POLYMERIC INDUSTRIAL WASTE AS ASPHALT MODIFIER

With the growing in the use of highways, mainly in our country, and with the quantitative increase in road traffic volume, it is necessary to develop new asphalt pavements that are more resistant to thermal susceptibility and permanent deformation. Bituminous materials used in conventional pavement not always present the required performance. In order to improve its properties, some practices have been accomplished, such as the incorporation of modifiers in the asphalt binder. Among the studied modifiers, it is important to stand out the use of polymeric waste and pulverized tire rubber. The increasing volume of polymer waste materials is attributed to factors such as: population growth, increase in the purchasing power of population, and a great use of plastic packing materials. In this research a polymeric industrial waste was incorporated to petroleum asphalt cement (CAP) seeking to improve its viscoelastic properties, making it more resistant to traffic loads. Asphalt with penetration grade 50/60 (CAP 50/60) was used in this work and it was kindly supplied by PETROBRAS/LUBNOR (produced in Fazenda Belém - Aracati-Ceará). First the polymeric waste material from a button industry (Rio Grande do Norte) was characterized, being classified as an unsaturated polyester. After, the waste was incorporated to the CAP according to a 2^3 factorial design, being used the following variables as factors: polymer amount (min-2%, max-14%), incorporation temperature (min- 140 °C, max 180 °C), and incorporation time (min- 20min, max- 60min). The results obtained in penetration index, softening point (ring-and-ball apparatus), fleshing point, and viscosity assays showed that the addition of polymeric waste to the asphalt binder improves its viscoelastic properties, being a viable alternative to solve this serious environmental problem, once the residue is produced in large amount and stored in a sanitary landfill.

Keywords: modified asphalt, polymer, industrial waste, environmental protection.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.