



ESTUDO REOLÓGICO DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM BORRACHA DE RECAPAGEM DE PNEU E AREIA VERMELHA QUARTZOSA¹

Johnny Gilberto Moraes Coelho²

João Guilherme Mota de Souza³

Carmen Gilda Barroso Tavares Dias⁴

Resumo

Nesse trabalho foi feita a avaliação reológica de ligante de cimento asfáltico de petróleo – CAP (A) modificado por borracha de recapagem de pneu (B) e areia quartzosa vermelha (AQ). Na qual obedecem as seguintes etapas: (1) mistura cisalhante de AQ e B na dosagem 30/100 em peso; (2) composição do ligante modificado (A/AQ/B) (3) caracterização reológica do ligante; (4) confeccionar corpos de prova (CP) de ligante modificado e agregados, concreto betuminoso usinado a quente - CBUQ, segundo a dosagem Marshall de escala reduzida e avaliação de cps. Os resultados comprovaram que a areia quartzosa vermelha modificou as propriedades reológicas do material, nos ensaios mecânicos ocorreu o ganho de estabilidade. Desta forma, a aplicabilidade do compósito estudado é satisfatória e ambientalmente correta, por se tratar da reutilização de materiais inservíveis.

Palavras-chave: Pneu reciclado; Concreto betuminoso usinado a quente; MEV.

RHEOLOGICAL STUDY OF ASPHALT BINDER MODIFIED WITH RUBBER RETRREAD TIRE AND QUARTZ SAND RED

Abstract

In this work the rheological evaluation was made of asphaltic cement - AC (A) modified by rubber tire retread (B) and quartz sand red (AQ). In which follow the following steps: (1) shear mixture of AQ and B 30/100 dosage by weight, (2) composition of the binder (modified A/AQ/B) (3) Rheological characterization of ligand, (4) confection of samples (CP) modified binder and aggregate, hot mix asphalt - HMA, according to Marshall dosage of small scale and evaluate samples. The results showed that the quartz sand red modified the rheological properties of the material in mechanical tests was gaining stability. Thus, the applicability of the composite studied is satisfactory and environmentally correct, because it is the reuse of scrap materials.

Key words: Recycled tire; Hot mix asphalt; SEM.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Mestrando em Engenharia Mecânica – UFPA – jogilmo@gmail.com.

³ Professor da Faculdade de Engenharia Civil – UFPA - joao@ufpa.br.

⁴ Professora do Mestrado em Engenharia Mecânica – UFPA - cgbtd@ufpa.br.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos elastômeros como estireno-butadieno-estireno (SBS), borracha de estireno-butadieno (SBR), borracha natural (NR) e borracha moída de pneu (B) são adicionados ao cimento asfáltico de petróleo para melhorar as propriedades mecânicas de misturas asfálticas. Em Al-Hadidy e Tan⁽¹⁾ o polímero SBS pode elevar a estabilidade em teste Marshall a 8% a mais que em asfaltos convencionais sem adição de elastômeros. Em Fontes et al.,⁽²⁾ os resultados de ensaio de laboratório mostram que a mistura asfalto-borracha apresentam um desempenho mecânico superior à mistura convencional. O acréscimo de B em base asfáltica também melhoram as propriedades reológicas, como em Thodesen, Shatanawi e Amirkhanian,⁽³⁾ explicam que a alteração da viscosidade se da devido interações físicas entre as partículas de B, diferenças morfológicas das partículas e área de superfície.

Uma boa prática ecológica é a utilização de pneus inservíveis, que é constituído da mistura vulcanizada destes polímeros, mas com maior alteração em propriedades reológicas melhorando a rigidez de ligantes asfálticos.

O objetivo desse trabalho é a análise reológica de ligante asfáltico modificado por B e de B com areia quartzosa vermelha (AQ) para uso em pavimentos flexíveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70 (A) produzido pela PETROBRAS (LUBNOR), em Coelho;⁽⁴⁾ modificado por areia quartzosa vermelha (AQ) passante na peneira de malha quadrada n° 200 e borracha moída de pneu (B), retida na peneira de malha quadrada n° 80. Agregados: seixo (S) passante na peneira de malha quadrada n° 04 e a areia branca (Ab) de cava passante na peneira n° 40. Inicialmente foi feita a pré-mistura B/AQ na fração de 30/100 em peso, a uma rotação de 200 rpm por 12 min e submetida a banho ultra termostático a temperatura de 140°C.

Para a produção de ligante com B/AQ, dosagem 30/100, foi utilizado um aquecedor a temperatura controlada a 180°C, em Navarro et al.⁽⁵⁾ foi utilizada mesma temperatura no processo de mistura de asfalto com borracha reciclada, a mistura foi feita manualmente. A ordem de adição dos componentes pode alterar a qualidade do produto final, portanto adotou-se a mesma sequencia de adição dos componentes nas quantidades estabelecidas para este trabalho tanto para composto de ligante com B quanto para ligante B/AQ.

Para ensaio de reologia foram feitas dosagens como mostra a Tabela 1, tem-se a proporção de B e B/AQ na qual a diferença aumenta quando acrescentamos “d”, onde dR^e é a dosagem para o ensaio de reologia (“d”, porcentagem de asfalto, “e” porcentagem de composto B/AQ e B).

Tabela 1. Proporção das porcentagens de “d” e “e”

d/e	3	4,5	6
7	2,33	1,56	1,17
7,5	2,50	1,67	1,25
8	2,67	1,78	1,33

Em concordância com a Tabela 1, foram feitas as dosagens para os compostos A/B (Tabela 2) e para o composto A/B/AQ (Tabela 3).

Tabela 2. Dosagem para ensaio de reologia de composto A/B

(%)	${}_7R^3$	${}_7R^{4,5}$	${}_7R^6$	${}_{7,5}R^3$	${}_{7,5}R^{4,5}$	${}_{7,5}R^6$	${}_8R^3$	${}_8R^{4,5}$	${}_8R^6$
A	72,1	75,3	70,8	81,9	76,3	72,0	82,8	77,3	72,9
B	27,9	24,7	29,1	18,0	23,7	28,1	17,3	22,8	27,1

Tabela 3. Dosagem para ensaio de reologia de composto A/B/AQ

(%)	${}_7R^3$	${}_7R^{4,5}$	${}_7R^6$	${}_{7,5}R^3$	${}_{7,5}R^{4,5}$	${}_{7,5}R^6$	${}_8R^3$	${}_8R^{4,5}$	${}_8R^6$
A	72,1	75,3	70,8	81,9	76,3	72,0	82,8	77,3	72,9
B/AQ	27,9	24,7	29,1	18,0	23,7	28,1	17,3	22,8	27,1

A caracterização reológica do asfalto com B e B/AQ foi feita no reômetro HAAKE, placa/placa com 35 mm de diâmetro, fenda de 0,40 mm, a temperatura de $180^\circ\text{C} \pm 1,00^\circ\text{C}$. Sensor PP35, inércia $2,690.10^{-06}$ kg.m², coeficiente térmico de expansão de $1,100 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$, efeito de ceder de 0,003157 rad/N.m. Foi registrado no tempo de 400 seg 1.500 pontos, a uma tensão de cisalhamento de 1 Pa para o ensaio de fluência.

Para o ensaio de oscilação foi feita uma varredura de 0,1592 Hz a 15,92 Hz e tensão de cisalhamento de 1.000 Pa.

Misturas betuminosas foram feitas na mesma escala de redução dos moldes metálico para ensaio Marshall.

Foram feitas as seguintes dosagens (D) em percentagens equivalentes a 20g do total, como mostram as Tabelas 4 e 5. A mistura betuminosa via úmida de CAP, foi feita seguindo a norma DNER-ME 043/95, a temperatura de 180°C .

Tabela 4. Dosagem mini-Marshall com 1,1%, 1,7% e 2,3% de pré-misturas com B

D (%) com B	${}_{1,1}C^7$	${}_{1,7}C^7$	${}_{2,3}C^7$	${}_{1,1}C^{7,5}$	${}_{1,7}C^{7,5}$	${}_{2,3}C^{7,5}$	${}_{1,1}C^8$	${}_{1,7}C^8$	${}_{2,3}C^8$
S	48,94	49,16	48,88	48,69	48,91	48,63	48,94	48,66	48,38
Ab	42,94	42,16	41,88	42,69	41,91	41,63	41,94	41,66	41,38
A	7,00	7,00	7,00	7,50	7,50	7,50	8,00	8,00	8,00
B	1,12	1,69	2,25	1,12	1,69	2,25	1,12	1,69	2,25

Tabela 5. Dosagem mini-Marshall, 1,4%, 2,1% e 2,8% de pré-misturas com B/AQ

D (%) com B/AQ	${}_{1,4}C^7$	${}_{2,1}C^7$	${}_{2,8}C^7$	${}_{1,4}C^{7,5}$	${}_{2,1}C^{7,5}$	${}_{2,8}C^{7,5}$	${}_{1,4}C^8$	${}_{2,1}C^8$	${}_{2,8}C^8$
S	48,47	48,45	47,94	48,22	48,20	47,69	48,47	47,95	47,44
Ab	42,47	41,45	40,94	42,22	41,20	40,69	41,47	40,95	40,44
A	7,00	7,00	7,00	7,50	7,50	7,50	8,00	8,00	8,00
B	0,65	0,98	1,31	0,65	0,98	1,31	0,65	0,98	1,31
AQ	1,41	2,11	2,82	1,41	2,11	2,82	1,41	2,11	2,82

Os corpos de prova (CP) foram submetidos ao ensaio de resistência máxima a compressão radial baseado na norma DNER-ME 043/95, em prensa universal com capacidade máxima 5.000 kgf (50 kN). A velocidade de ensaio foi de 50 mm/min., limite de força de 1.226 N e limite de deslocamento de 18 mm.

Foram observadas as amostras B e B/AQ antes e depois de misturado ao asfalto e aos agregados tradicionais constituintes. O equipamento utilizado foi o microscópio óptico trinocular de luz polarizada (MO). Para análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV) as amostras foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2 minutos.

3 RESULTADOS

A análise Reológica (R) foi feita com amostras de diferentes dosagens. As Figuras 1 e 2 mostram a fluência do material através dos parâmetros viscosidade $\eta(\dot{\gamma})$ pela taxa de cisalhamento. Nas Figuras 3 e 4, módulo complexo ($G^*(\omega)$) em função da frequência, de misturas A/B e A/B/AQ, nas dosagens mostradas nas Tabelas 1 e 2.

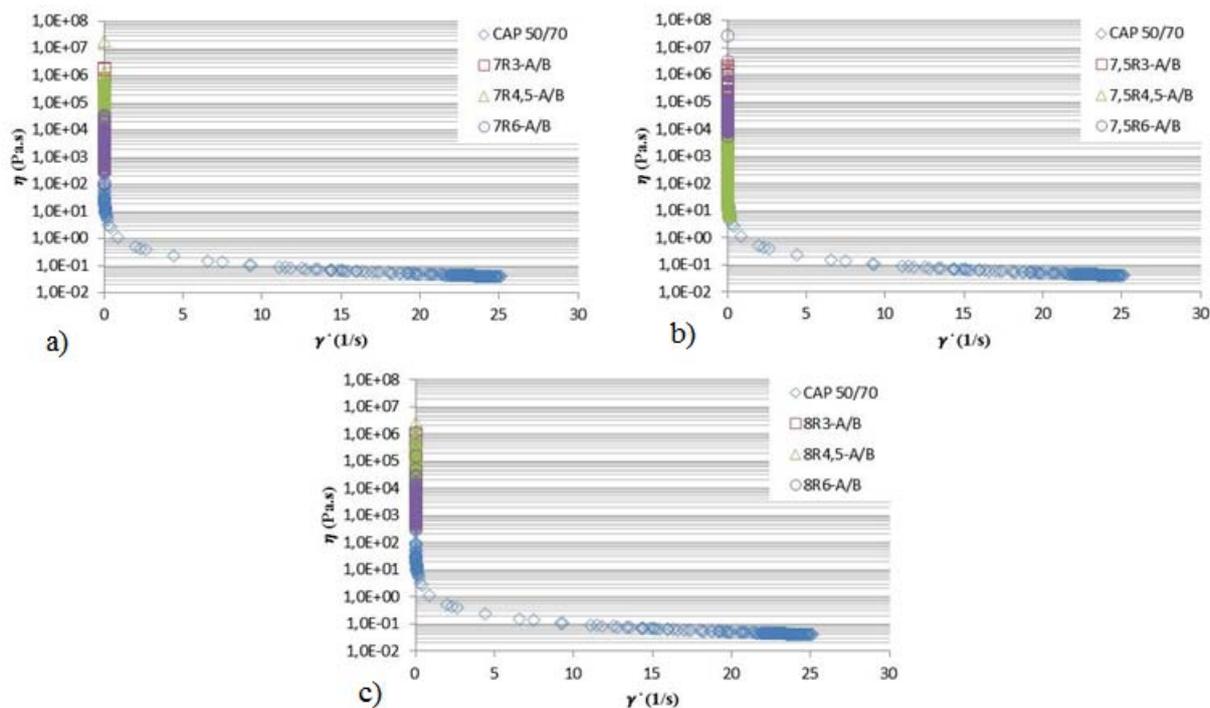


Figura 1. Viscosidade $\eta(\dot{\gamma})$ em função taxa de cisalhamento, reologia (R) de misturas com A/B ao ligante, onde em a) temos as dosagens para 7% de A, em b) temos as dosagens para 7,5% de A e em c) temos as dosagens para 8% de A.

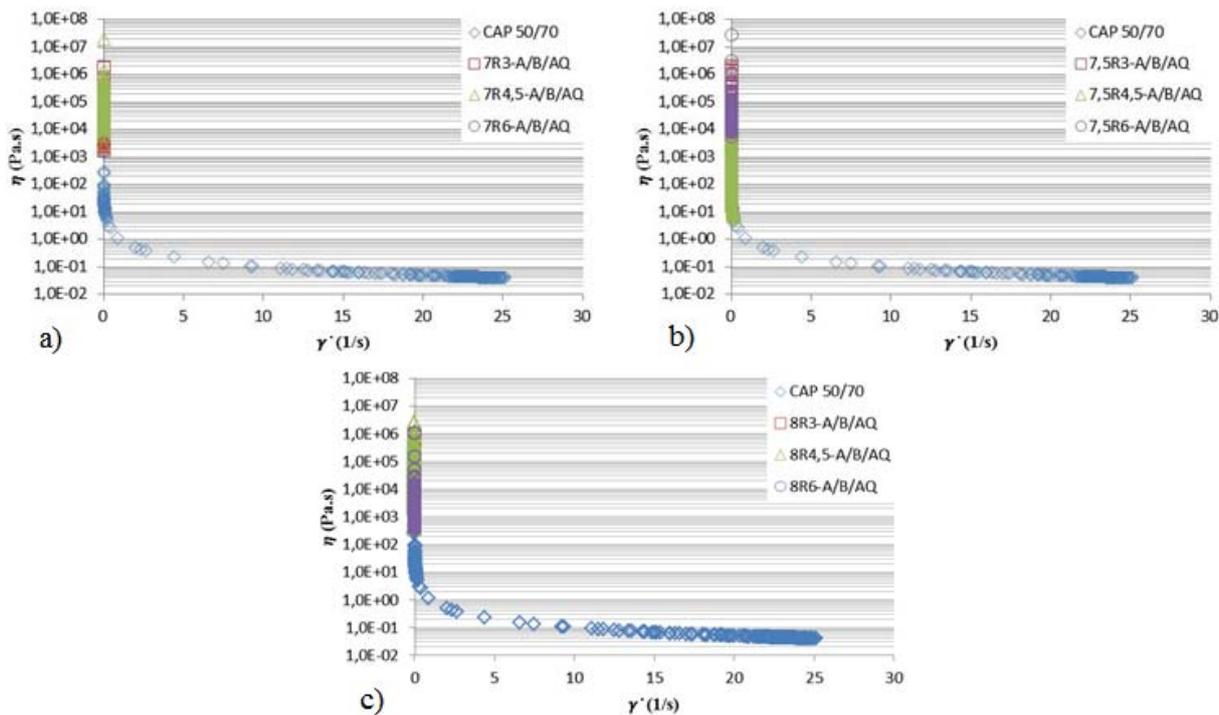


Figura 2. Viscosidade $\eta(\dot{\gamma})$ em função taxa de cisalhamento, reologia (R) de misturas com A/B/AQ ao ligante, onde em a) temos as dosagens para 7% de A, em b) temos as dosagens para 7,5% de A e em c) temos as dosagens para 8% de A.

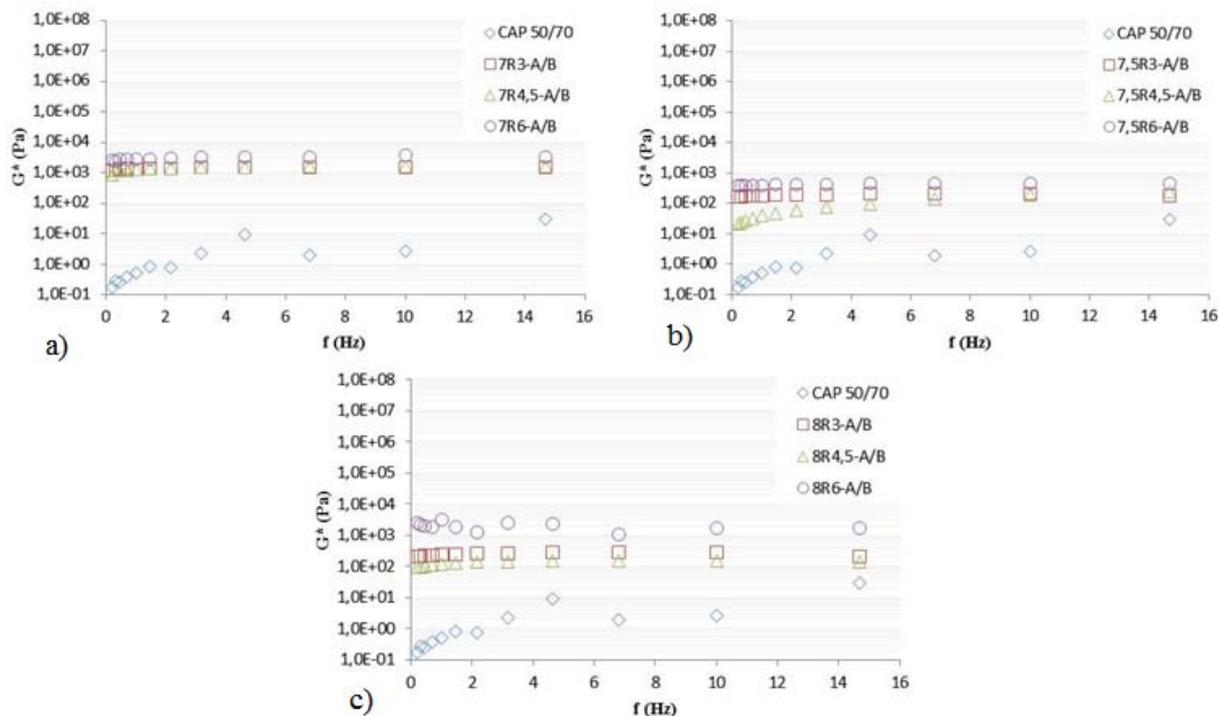


Figura 3. Módulo complexo ($G^*(f)$) em função da frequência, reologia (R) de misturas com A/B ao ligante, onde em a) temos as dosagens para 7% de A, em b) temos as dosagens para 7,5% de A e em c) temos as dosagens para 8% de A.

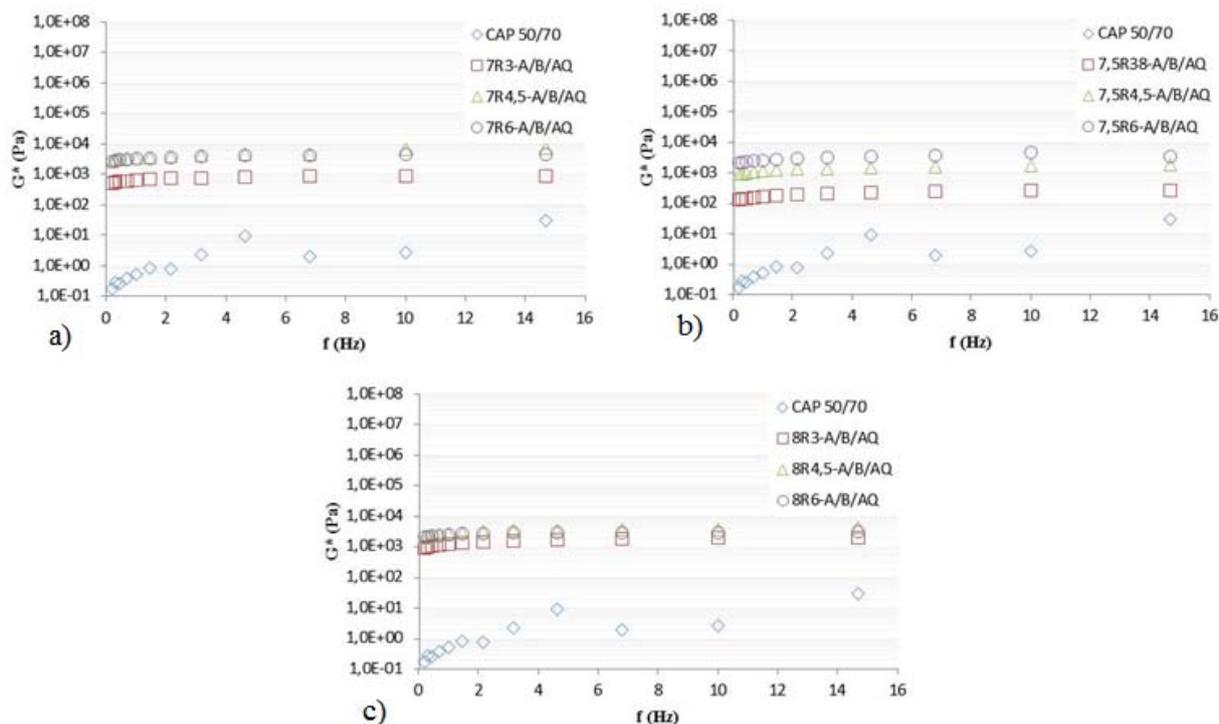


Figura 4. Módulo complexo (G^*) em função da frequência, reologia (R) de misturas com A/B/AQ ao ligante, onde em a) temos as dosagens para 7% de A, em b) temos as dosagens para 7,5% de A e em c) temos as dosagens para 8% de A.

As Tabelas 6 e 7, contém os resultados obtidos de volume de vazios (VV), betume/vazios (BV) e densidade aparente (DA) de acordo com as porcentagens de composto, assim como os resultados de ensaios mecânicos, fluência (F), estabilidade (E). Resistência a compressão (RC) de CP com B, são apresentados na Tabela 6, e CP com B/AQ são apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Parâmetros volumétricos e de resistência a compressão mini-Marshall (B)

CP com B	E (N)	F (mm)	VV (%)	BV (%)	DA (g/cm ³)	RC (kgf/cm ²)
$_{1,1}C^7$	68,56	1,93	12,45	0,49	1,780	1,31
$_{1,7}C^7$	75,33	1,74	7,71	0,62	1,876	1,44
$_{2,3}C^7$	58,67	1,62	13,03	0,48	1,768	1,12
$_{1,1}C^{7,5}$	68,83	1,88	20,23	0,37	1,614	1,32
$_{1,7}C^{7,5}$	69,50	1,92	14,60	0,46	1,727	1,33
$_{2,3}C^{7,5}$	216,54	1,88	47,29	0,14	1,066	4,14
$_{1,1}C^8$	93,91	2,45	16,85	0,44	1,673	1,80
$_{1,7}C^8$	184,91	1,96	12,65	0,52	1,758	3,53
$_{2,3}C^8$	187,34	2,17	15,05	0,47	1,709	3,58

Tabela 7. Parâmetros de volume e resistência a compressão mini-Marshall (B/AQ)

CP com B/AQ	E (N)	F (mm)	VV (%)	BV (%)	DA (g/cm ³)	RC (kgf/cm ²)
1,1C ⁷	74,45	2,87	13,27	0,47	1,763	1,42
1,7C ⁷	80,25	1,84	8,00	0,61	1,870	1,53
2,3C ⁷	67,85	1,36	15,40	0,43	1,720	1,30
1,1C ^{7,5}	77,23	2,15	20,65	0,36	1,605	1,48
1,7C ^{7,5}	140,45	2,04	15,90	0,44	1,701	2,69
2,3C ^{7,5}	328,35	2,47	18,30	0,40	1,652	6,28
1,1C ⁸	140,32	3,94	17,09	0,43	1,668	2,68
1,7C ⁸	248,56	3,12	13,54	0,50	1,740	4,75
2,3C ⁸	204,23	3,28	15,47	0,46	1,701	3,90

Para constatar a aderência dos constituintes em estudo foram analisadas na Figura 5 imagens provenientes de MO e na Figura 6 imagens detectadas pelo MEV.

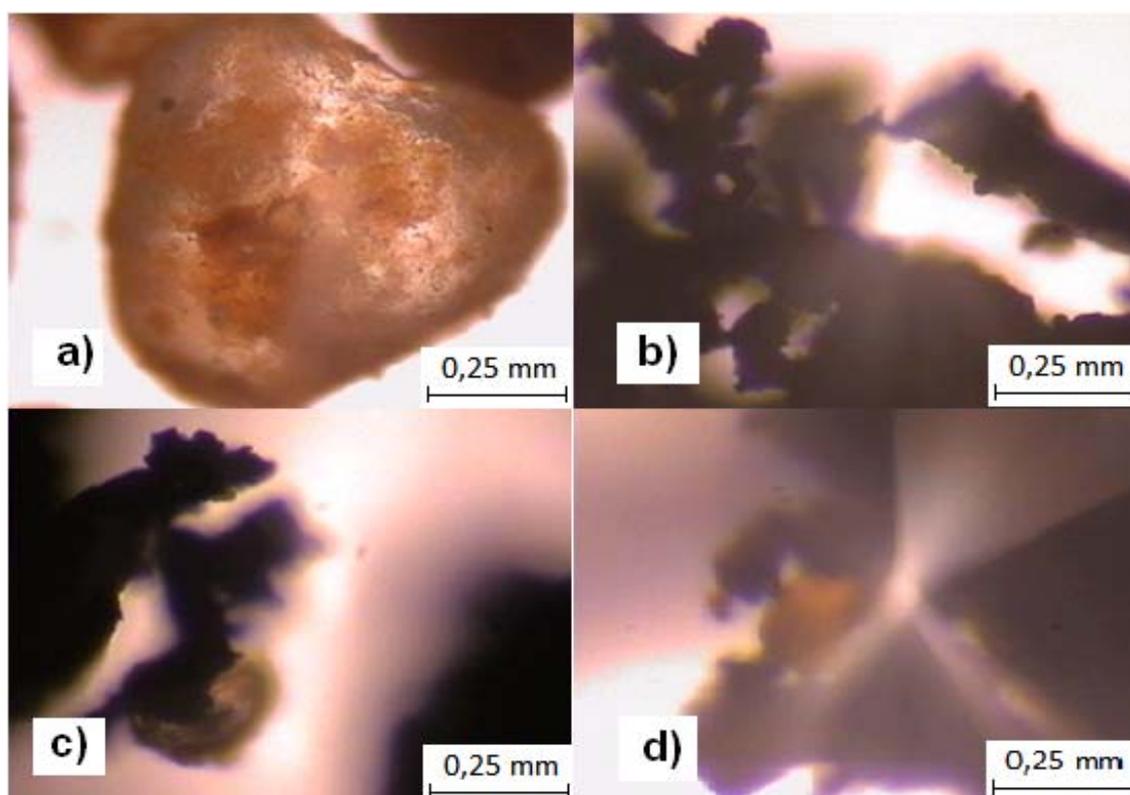


Figura 5. MO de mini-Marshall fraturados, a) grão de AQ, b) grão de B, c) contato físico entre a superfície de AQ e B, d) AQ inserida na estrutura de B.

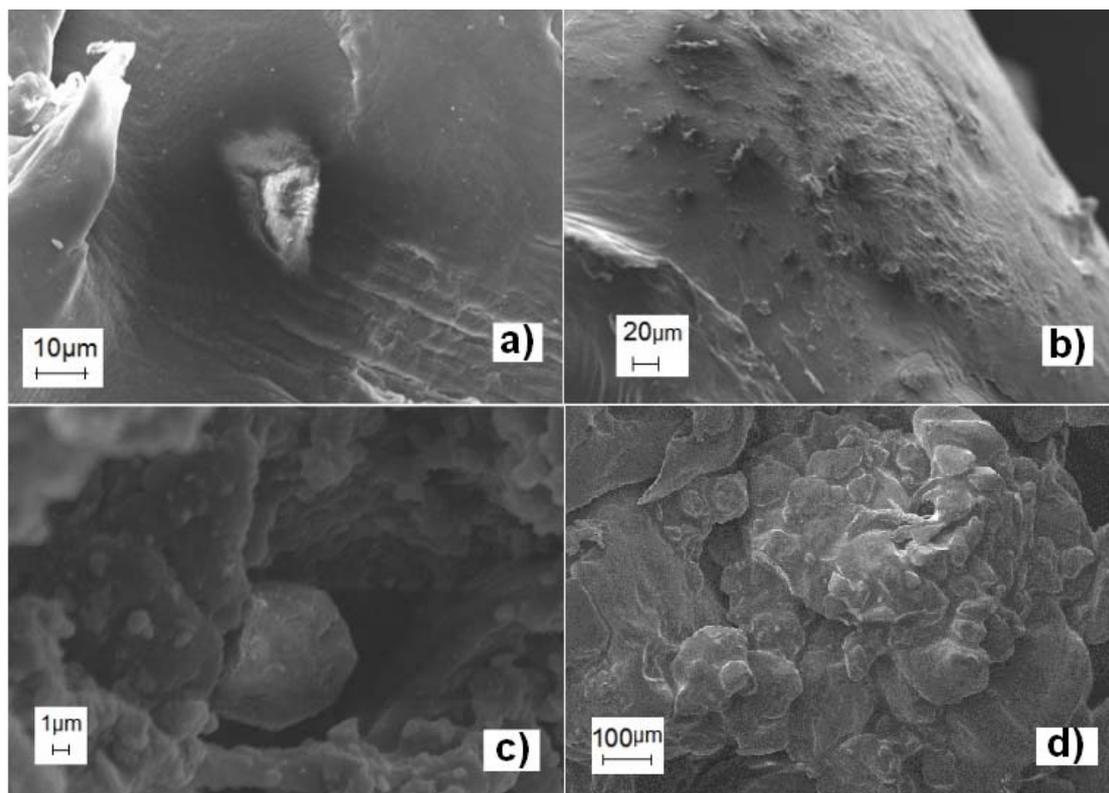


Figura 6. MEV - Mini-Marshall, a) AQ inserida na estrutura de B, b) superfície de B, c) partícula de B em A e d) envolvimento dos agregados a matriz asfáltica.

4 DISCUSSÃO

O CAP 50/70 foi o que mais escoou com a taxa de cisalhamento, porém com acréscimo de carga podemos observar que a dificuldade foi maior de escoamento. Mesmo com baixo escoamento em baixa taxa de cisalhamento, podemos observar a variação da viscosidade. As Figuras 1 e 2 mostram o melhor desempenho em relação ao ganho de resistência ao escoamento com acréscimo de A/B e A/B/AQ; nas dosagens $7,5R^3$, $7,5R^{4,5}$, $7,5R^6$, em função da taxa de cisalhamento.

Em modo dinâmico, os resultados foram dentro do previsto, quanto maior a inserção de B e do composto B/AQ, maior a rigidez. Na Figura 3, temos um acréscimo menor de rigidez, como os resultados encontrados em Navarro et al.,⁽⁵⁾ do que os resultados expressos na Figura 4, na qual temos uma maior rigidez da estrutura do composto estudado. Isso se explica devido a perda da maciez quando acrescentamos AQ em B, tornando o ligante mais rígido.

As Tabelas 6 e 7 mostram que o quanto menor a porcentagem de CAP 50/70 com o composto B e B/AQ, menor é o volume de vazios e maior é o preenchido o CP com ligante, assim como maior é a resistência.

Na Figura 5-A, mostra um grão de AQ, que apresenta pequenas escoriações ao seu redor, que pode ter sido provocada pelas intempéries, na extração ou transporte da amostra de AQ. A Figura 5-B, particulados de B presentes na superfície do CP. Nas Figuras 5-C e 5-D mostram a aderência física da AQ na estrutura de B.

A Figura 6-A é a imagem da AQ inserida na estrutura polimérica de B. Na Figura 6-B, visualizamos a superfície de B. Na Figura 6-C a aderência existente entre um particulado de B com CAP. A Figura 6-D, mostra o aspecto global da mistura e o envolvimento dos agregados ao ligante.



5 CONCLUSÃO

Na análise reológica, o ganho de resistência ao escoamento versus baixas taxas de cisalhamento ocorre quando misturamos valores intermediários em porcentagens em peso de B e B/AQ ao ligante, um exemplo disso está nas Fig. 1 e Fig. 2 na qual o escoamento se deu a 7,5% de A para 4,5% de B e de B/AQ. O ganho de rigidez com a inserção de AQ em B dificulta o escoamento do ligante entre os agregados, ou seja, os valores de resistência são maiores as misturas feitas com maiores porcentagens do composto B/AQ no ligante.

Agradecimentos

Agradeço a CAPES pelo incentivo a pesquisa. Aos que trabalham no laboratório de ecocompositos da UFPA e no laboratório de solos e asfalto da SETRAN-PA.

REFERÊNCIAS

- 1 AL-HADIDY, C.; TAN, Y.-Q. Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2941–2950, n° 08, 2009.
- 2 FONTES, L.; TRICHÊS, G.; PEREIRA, P.; PAIS, J. Redução da espessura dos pavimentos utilizando misturas com asfalto-borracha. IV Simpósio de Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. Fortaleza-CE, 2009.
- 3 THODESEN, C.; SHATANAWI, K.; AMIRKHANDANIAN, S. Effect of crumb rubber characteristics on crumb rubber modified (CRM) binder viscosity. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 295–303, n° 01, 2009.
- 4 COELHO, J.G.M. Estudo da mistura betuminosa para a pavimentação do aeroporto de Conceição do Araguaia no estado do Pará. Anais do IV Congresso de Pesquisa e Inovação da rede Norte e Nordeste de Educação tecnológica, 2009.
- 5 NAVARRO, F.J.; PARTAL, P.; GARCÍA-MORALES, M.; MARTÍN-ALFONSO, M.; MARTÍNEZ-BOZA, F.; GALLEGOS, C.; BORDADO, J.C.M.; DIOGO, A.C. Bitumen modification with reactive and non-reactive (virgin and recycled) polymers: A comparative analysis. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 15, p. 458–464, 2009.