

Ligante Asfáltico Modificado com Rejeito de Mineração de Ferro

Bárbara Gonçalves Mourão

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, barbara.mourao@hotmail.com.

Juan Gabriel Bastidas Martinez

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jbastidasmartinez@gmail.com.

José Camapum de Carvalho

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, camapumdecarvalho@gmail.com.

Lêda Christiane Lucena

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, ledach@uol.com.br.

RESUMO: A destinação final de resíduos sólidos é considerada um problema ambiental em países do mundo inteiro. Grandes quantidades são indevidamente descartadas por falta de locais adequados ou mesmo por descaso, ou ainda por falta de alternativas para utilização. Este fato somado à crescente demanda por materiais naturais motivou a pesquisa em questão. Este estudo tem como objetivo avaliar a influência da incorporação de rejeitos de mineração de ferro nas propriedades de misturas asfálticas destinadas a compor a camada superficial betuminosa de pavimentos flexíveis, sem considerar os aspectos econômicos. Primeiramente, foram realizados ensaios de caracterização geotécnica, objetivando a caracterização do rejeito como filer. A seguir, avaliou-se a interação entre o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70 e o rejeito de mineração utilizando diferentes teores em peso. Foram realizados ainda ensaios de caracterização do ligante asfáltico, tais como penetração, ponto de amolecimento, viscosidade Brookfield e ductilidade. Os ensaios dos ligantes modificados com o rejeito como filer apresentaram asfaltos com melhor comportamento indicando que a incorporação dos rejeitos de mineração apresenta-se como uma técnica viável do ponto de vista ambiental e técnico na modificação de asfaltos para fins de pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: asfaltos modificados, minério de ferro, consistência.

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade promissora e de extrema importância para o Brasil, tendo como destaque o minério de ferro. Por conseguinte, eventuais contratempos relacionados à sua atividade de mineração acarretam consequências significativas. Nesse contexto, tem merecido atenção a forma de dispor os rejeitos gerados no processo de beneficiamento do minério de ferro. O assunto torna-se ainda mais importante em virtude da grande quantidade de acidentes relacionados a barragens de rejeitos, principal forma de disposição dos resíduos de mineração no Brasil.

A construção de pavimentos rodoviários trata tipicamente da disposição de materiais naturais granulares e coesivos, que devem ser estudados, transportados, espalhados e compactados no local da obra. Diferentes pesquisas têm sido realizadas contemplando a colocação de forma parcial ou total de materiais alternativos nas camadas de pavimentos. Esses estudos têm buscado a disposição segura dos resíduos sólidos e a melhoria do comportamento mecânico dos elementos constituintes das camadas de pavimentos.

Outro fator expressivo é a grande demanda por rodovias pavimentadas no país. Uma pesquisa realizada pela Confederação

Nacional do Transporte (CNT, 2015) afirma que a malha rodoviária do Brasil está composta aproximadamente por 1.72 milhões de km, dos quais: 78,6% são rodovias não pavimentadas; 9% estão em estado de planejamento e apenas 12,4% encontram-se pavimentadas. Portanto, é um desafio para os engenheiros civis definir e dispor de materiais apropriados para uso nas estruturas de pavimentos, garantindo-lhes bom desempenho e durabilidade adequada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mineração de ferro

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de minério de ferro. Os principais estados brasileiros produtores são: Minas Gerais (67%); Pará (29,3%) e outros (3,7%). As maiores empresas produtoras são: Vale com 84,52%, CSN com 5,45%, Samarco com 6,29%, MMX com 2,03% e Usiminas com 1,71% (IBRAM, 2012).

O minério de ferro é encontrado na natureza na forma de rochas e misturado a outros elementos. Por meio de diversos processos industriais com tecnologia de ponta, o minério é beneficiado para, posteriormente, ser vendido.

Em 2014, a produção de minério de ferro foi de 400 milhões de toneladas, conforme dados do IBRAM de 2015, e seu crescimento estimado em 751 milhões de toneladas para o ano de 2015 (IBRAM, 2012).

Quanto aos rejeitos desse minério, para efeito comparativo, segundo o relatório anual de sustentabilidade da empresa Samarco, cada 10 toneladas de minério produzido tiveram cerca de 8,8 toneladas de rejeitos resultantes do seu beneficiamento (Samarco, 2014). É certo que a empresa trabalha com baixos teores do minério e que as condições de mercado influenciam, no entanto, os números são alarmantes. Adotando-os à citada produção brasileira de 400 milhões de toneladas/ano (IBRAM, 2015), tem-se a geração de 352 milhões de toneladas de resíduo.

Em comparação com outros minérios, o minério de ferro também se sobressai na produção de rejeitos. O IBRAM estima a

quantidade relativa deste rejeito em 41,38% do volume total produzido no Brasil entre 2010 e 2030 (CNI, 2012).

2.2 Alternativas de disposição

2.2.1 Cavas de mineração

Uma possibilidade de disposição dos rejeitos do beneficiamento de minério de ferro é o uso dos mesmos no preenchimento de cavas de mineração já exauridas ou abandonadas. Esta alternativa possibilita o armazenamento, a revegetação e a recuperação ambiental da área e da água envolvida no processo (Patrício *et al.*, 2012).

Todavia, sua execução demanda um alto investimento em equipamentos como tubulações para água e rejeitos, bombas, montagens eletromecânicas, dentre outros materiais e serviços de custo relevante (Patrício *et al.*, 2012).

2.2.2 Pilhas controladas

As pilhas controladas conformam os rejeitos, após redução de umidade, em locais adequados. Para tanto, os rejeitos devem estar em forma sólida, o que exige um método de retirada da água excessiva contida no material. Há diversas formas de fazê-lo, mas elas certamente encarecerão o custo desta alternativa. Ainda que necessários tais métodos, a alternativa é considerada econômica a curto prazo. Já a longo prazo, será exigido um espaço cada vez maior para a estocagem muitas vezes raro em regiões próximas a grandes centros urbanos.

Uma desvantagem das pilhas seria provinda do material fino nelas presentes, que é carregado pelo vento e pode atingir outras áreas assim como prejudicar comunidades vizinhas. Mais um gasto aparece, então, a fim conter a dispersão desses rejeitos, a construção de barreiras para o vento.

Em contrapartida, pode-se dizer que a grande maioria dos acidentes acontece com depósitos predominantemente de líquidos e não de sólidos. Um depósito com maior teor de

sólidos é mais fácil de administrar, evitando possíveis acidentes (Lozano, 2006).

2.2.3 Barragens de rejeito

Barragens de rejeitos são estruturas que têm a finalidade de reter os resíduos sólidos e a água dos processos de beneficiamento de minério. (Lozano, 2006). Hoje no Brasil esse é o método mais utilizado para tal finalidade, o que não significa ser também o mais seguro e apropriado para o meio ambiente. Seu potencial de danos é elevado devido às recorrentes ocorrências de rompimento de barragens e à poluição de solos, rios e águas subterrâneas.

Embora muitas vezes não se disponha de tempo e meios necessários para construir uma barragem seguramente planejada, muitas empresas o fazem com certa improvisação e considerável dose de risco. Talvez isso ocorra pelo fato da disposição de resíduos ser catalogada como um custo adicional sem retorno dentro do projeto, não despertando, assim, interesse pela busca de métodos menos impactantes.

A longo prazo, a crescente dificuldade no licenciamento de novas barragens, de alteamento das já existentes e da utilização de água nova, o alto CAPEX (capital expenditure) envolvido, a redução dos teores metálicos nas minas (exigindo maior custeio para a mesma escala de produção) e a propensão cada vez maior à ocorrência de acidentes comprometem a escolha desta alternativa.

Deve-se perceber que as barragens de rejeitos, assim como as outras alternativas citadas neste tópico, são somente paliativas tendo em vista a crescente produção de rejeitos de mineração, especialmente do minério de ferro. Desta forma, definitivamente os métodos que atenderão plenamente o futuro florescerão de investimentos no desenvolvimento de técnicas de aproveitamento econômico desses rejeitos de modo a garantir a sustentabilidade ambiental.

2.3 Acidentes de barragens de mineração

Embora estejam dentro da média mundial, as ocorrências de acidentes com barragens de rejeitos no Brasil têm causado consequências catastróficas sob as óticas ambiental, social e humana. Segundo o ICOD (International Commission On Large Dams) ocorrem, em média, duas rupturas de barragens de rejeitos importantes por ano no mundo.

Recentemente ocorreu o rompimento da barragem de rejeito de minério de ferro conhecida como Fundão, na região de Mariana, Minas Gerais. No dia 05/11/2015 comunidades foram destruídas, toneladas de lama foram disseminadas pelo Rio Doce e por alguns afluentes e, nos quatro meses seguintes, 18 pessoas morreram. Vale ressaltar que a tragédia foi inevitável mesmo com o acionamento imediato do Plano de Ações Emergenciais (PAE) das barragens (Spilka *et al.*, 2016).

Assim, o alto risco de um acidente ambiental provocado pelo rompimento de uma barragem, aliado ao prejuízo que isso pode trazer para a empresa, justifica um investimento a ser feito em métodos alternativos de disposição.

2.4 Pavimentação

A norma Brasileira 7207 (NBR, 1982) define o pavimento como uma estrutura de camadas de materiais tecnicamente selecionados construídas depois do projeto de terraplanagem de uma estrada. Em seu conjunto, essa estrutura é destinada, econômica e tecnicamente, a distribuir no subleito os esforços horizontais e verticais provenientes dos carregamentos do tráfego. O pavimento destina-se também a melhorar as condições de rolamento, em termos de comodidade do usuário e interação segura no contato entre o pneu e a superfície do revestimento.

Os revestimentos asfálticos são camadas superficiais de pavimentos flexíveis que estão expostas às condições climáticas e são preparadas para receber e distribuir o carregamento proveniente do tráfego para camadas inferiores. Devido às solicitações a que é submetido, o revestimento asfáltico apresenta, ao longo de sua vida útil, um conjunto de danos que levam à deterioração da sua estrutura,

podendo atingir a estrutura de pavimento como um todo. Os mesmos são materiais compostos especialmente por agregados provenientes de rochas e por material asfáltico, que apresentam um comportamento visco-elástico. O material asfáltico propicia coesão entre os grãos e contribui para o comportamento viscoso da mistura. Ligantes asfálticos modificados com materiais fílers são mais consistentes do que os asfaltos convencionais, podendo contribuir para a prevenção de formação de trilha de roda e ocorrência de trincas por fadiga.

3 MATERIAS E METODOLOGIA

3.1 Materiais

Os rejeitos do beneficiamento de minério de ferro utilizados no estudo são decorrentes da atividade mineradora da Mhag Serviços e Mineração S/A e Mineração, na Mina do Bonito, localizada no município de Jucurutu, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil (Dantas, 2015).

O Cimento Asfáltico de Petróleo utilizado, CAP 50/70, é oriundo da refinaria Gabriel Passos no estado de Minas Gerais e foi fornecido pela distribuidora Centro-Oeste Asfaltos, de Brasília.

3.2 Preparação de amostras de asfaltos modificados

Os valores utilizados de teor de rejeito se deram nas proporções em volume de 0:1; 1:40; 1:20; 1:10 e 1:6. O caso 1:6 indica que para um (1) volume de rejeito, foram utilizados seis (6) volumes de CAP 50/70. Outra forma de expressar as quantidades dos asfaltos modificados foi em relação à massa, tendo a seguinte equivalência: 0%; 9%; 17%; 29% e 40% respectivamente. O caso 40% indica que no asfalto modificado foi utilizado 40% da massa total com o rejeito de mineração de ferro e 60% da massa total com CAP 50/70 puro. Os altos percentuais de rejeito, em relação ao ligante asfáltico, se devem aos altos valores obtidos de densidade real dos grãos, no caso do Rejeito de Minério de Ferro, tem-se uma

densidade média de 4,085 g/cm³; enquanto que para o CAP 50/70 puro se tem uma densidade média de 1,004 g/cm³. A Tabela 1 apresentam as dosagens gravimétricas e volumétricas das amostras de asfaltos estudados.

Tabela 1. Dosagens gravimétrica e volumétrica.

N	Dosagem gravimétrica		Dosagem volumétrica	
	Rejeito (%)	CAP 50/70 (%)	Proporção de rejeito	Proporção de CAP 50/70
1	0	100	0	1
2	9	91	1	40
3	17	83	1	20
4	29	71	1	10
5	40	60	1	6

Para os ensaios de caracterização dos ligantes modificados com rejeito, prepararam-se amostras de 500 cm³. A Tabela 3 apresenta as dosagens gravimétricas e volumétricas dos ligantes asfálticos, em função do teor de material adicionado.

Os asfaltos modificados foram realizados utilizando um equipamento rotacional com uma velocidade de operação de 250 ± 30, uma temperatura de 155 °C ± 5 °C e por um período de uma hora. Previamente, os Rejeitos de Mineração de Ferro (RMF) foram secos numa estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C.

3.3 Ensaios

Para a caracterização dos asfaltos modificados, foram realizados os ensaios de penetração, ponto de amolecimento, viscosidade e ductilidade, a fim de determinar a consistência dos materiais betuminosos.

3.3.1 Penetração

A penetração foi determinada pela média de três valores obtidos em ensaios individuais desde que a diferença não superasse 0.4 mm. Ela consiste na profundidade, em décimo de milímetro, que uma agulha padronizada penetra verticalmente numa amostra de 50 g do material a 25 °C em um tempo de 5 segundos. O ensaio busca determinar a dureza do asfalto, sendo que esta será tanto maior quanto menor for a penetração da agulha (DNIT, 2010).

3.3.2 Ponto de amolecimento

Utilizando o método de Anel e Bola, determinou-se o ponto de amolecimento para o asfalto modificado em questão. Primeiramente, aqueceu-se o material até obter fluidez a uma temperatura de no máximo 135 °C para, então, preparar amostras preenchendo o anel metálico padrão localizado em superfície plana. As amostras foram colocadas para resfriar até a temperatura de 5 °C. Posteriormente, duas bolas de aço padrão foram centralizadas sobre duas amostras de mesmo material. O conjunto, juntamente com a aparelhagem de suporte e o termômetro do ensaio, foram posicionados dentro de um béquer com água destilada até uma altura de (1000 ± 10) ml. O aquecimento foi realizado a uma taxa de 5 °C por minuto. Para cada bola, anotou-se a temperatura correspondente ao instante em que cada mistura amoleceu o suficiente para a esfera tocar o fundo do béquer. Nos resultados foi certificado que a diferença de temperatura entre os dois ensaios realizados para a mesma amostra não excedesse 2 °C (DNIT, 2010).

3.3.3 Ductilidade

Neste ensaio, cujo objetivo é avaliar a resistência ao rompimento do material analisado, mediu-se o alongamento em centímetros da amostra a partir do seu estágio inicial. Da mesma forma que no ensaio anterior, um molde específico foi preenchido com o asfalto modificado para depois ser imerso no ductilômetro com água a 25 °C. Ajustou-se a densidade do banho adicionando sal comum. Finalmente, a amostra foi submetida pelos dois extremos a uma velocidade de deformação de 5 centímetros por minuto até romper-se (DNER, 1998).

3.3.4 Viscosidade

O ensaio de viscosidade foi efetuado a 3 faixas de temperatura para uma mesma amostra: 135, 150 e 177 °C. Utilizando o viscosímetro Brookfield e um *spindle* 21 a 20 rpm, determinou-se os valores das respectivas viscosidades rotacionais em centipoise (cP), a

fim de obter a curva viscosidade-temperatura. O ensaio consiste em colocar 8 ± 3 g de material no frasco a ser aquecido no viscosímetro.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de penetração

A Tabela 2 e a Figura 1 apresentam os resultados dos ensaios de penetração do ligante puro e dos ligantes modificados.

Tabela 2. Ensaio de penetração.

Tipo	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
CAP 50/70	56	55	56	56
9% RMF	52	51	52	52
17% RMF	52	49	50	50
29% RMF	47	47	39	47
40% RMF	42	45	42	42

O ensaio de penetração avalia a dureza. Para o caso dos asfaltos modificados com RMF, se observa que o valor de penetração diminui com o aumento do teor de rejeito adicionado, tendo como referência a amostra do asfalto puro CAP 50/70. A diminuição da penetração indica que os grãos sólidos de material filer contribuem para o aumento da rigidez do material.

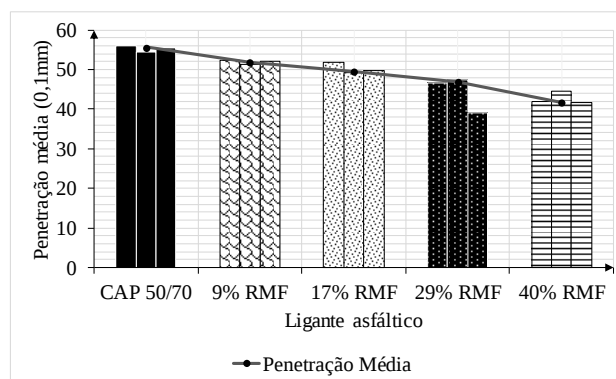


Figura 1. Ensaio de penetração.

4.2 Ensaio de ponto de amolecimento

A Tabela 3 e a Figura 2 apresentam os resultados dos ensaios de ponto de amolecimento do ligante puro e dos ligantes modificados.

Tabela 3. Ensaio de ponto de amolecimento.

Tipo	PA 1	PA 2	Média
CAP 50/70	46	46	46
9% RMF	54	54,5	54,3
17% RMF	55	55,5	55,3
29% RMF	56	56	56
40% RMF	57	57	57

*PA: Ponto de amolecimento.

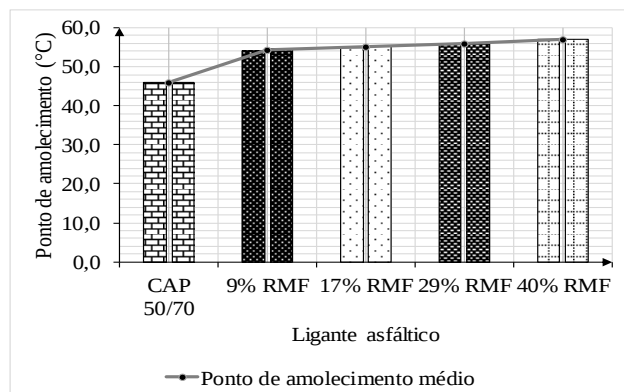


Figura 2. Ensaio de ponto de amolecimento.

O ponto de amolecimento indica a temperatura em que ocorre a variação de comportamento do material ao passar do estado sólido para o líquido. A incorporação de maiores teores de RMF contribuem para o aumento da temperatura correspondente ao ponto de amolecimento. De forma geral, se observa que todas as amostras com RMF apresentaram maiores temperaturas de pontos de amolecimento em relação à referência do CAP 50/70 puro.

O ponto de amolecimento está relacionado com a ocorrência do defeito de trilha de roda. O dano de trilha de roda é muito comum em revestimentos de pavimentos brasileiros. O aumento da temperatura correspondente ao ponto de amolecimento dos asfaltos modificados com RMF contribui para o aumento da rigidez dos revestimentos asfálticos em climas quentes, reduzindo ou mesmo evitando os danos no revestimento.

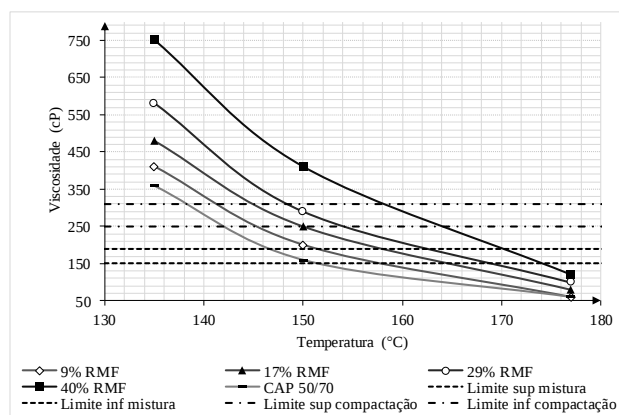
A especificação do CAP 50/70 estabelece uma temperatura de amolecimento mínima de 46°C segundo as especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP) 2005. Neste contexto, pode-se observar que a presença de diferentes teores de RMF aumentam na faixa de

20% $\pm$ 3% o valor mínimo preconizado pela especificação.

Simultaneamente os ensaios de penetração e ponto de amolecimento indicam uma medida geral da consistência, sendo que asfaltos de maior consistência apresentam baixos valores de penetração e altos valores da temperatura de amolecimento. Revestimentos de pavimentos de concreto asfáltico constituídos de asfaltos altamente consistentes são apropriados para climas de elevadas temperaturas, pois apresentam menor ocorrência de trilhas de roda. Revestimentos de pavimentos com asfaltos de elevada consistência, submetidos a elevados carregamentos e baixas temperaturas, podem ser mais propensos a trincamentos permanentes, devido a sua alta rigidez.

4.3 Ensaio de viscosidade rotacional Brookfield

A Figura 3 apresenta graficamente os resultados para os cinco tipos de ligantes modificados da viscosidade em centipoises [cP] *versus* a temperatura em graus Celsius [°C], contendo as faixas de viscosidade para as temperaturas de compactação e aquecimento do ligante recomendadas pela DNIT-ME 043/095 para a fabricação de concreto asfáltico, correspondentes a (280 $\pm$ 30 cP) e (170 $\pm$ 20 cP) respectivamente. Paralelamente, apresentam-se nas Figuras 4 e 5 os valores máximos e mínimos encontrados graficamente, a partir da Figura 3, para cada tipo de ligante.

Figura 3. Curva de viscosidade (Brookfield) *versus* temperatura.

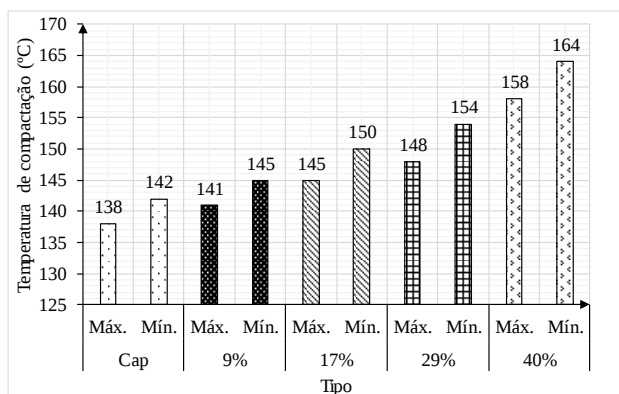


Figura 4 Temperaturas de compactação do ligante asfáltico, para misturas asfálticas com ligantes modificados com RMF.

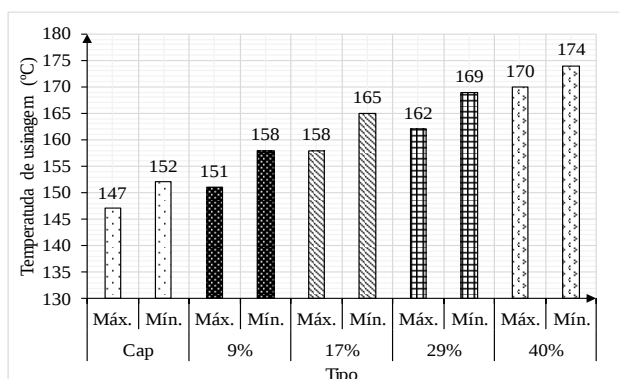


Figura 5. Temperaturas de aquecimento do ligante asfáltico, para misturas asfálticas com ligantes modificados com RMF.

A Figura 6 indica uma tendência linear no crescimento.

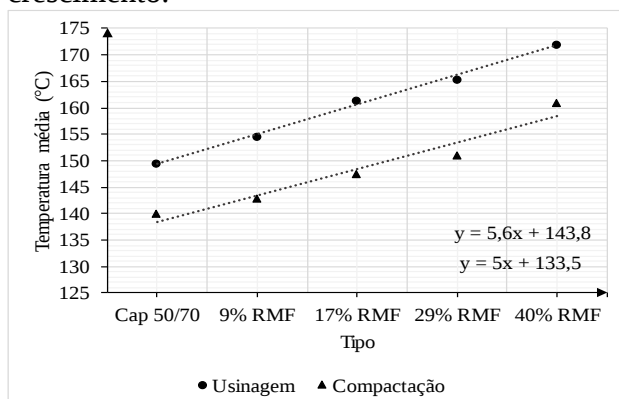


Figura 6: Linhas de tendência lineares para as temperaturas médias de compactação e usinagem.

Pode-se observar o aumento proporcional das viscosidades dos ligantes asfálticos em função do teor de rejeito. Os aumentos das viscosidades acarretam aumentos nas faixas de temperaturas de compactação e de usinagem das misturas, contribuindo para o aumento da rigidez no concreto asfáltico.

A curva de comportamento apresenta

maiores valores de viscosidade para baixas temperaturas (135 °C), diferindo significativamente do valor da viscosidade em função do teor de RMF. No caso das leituras a elevadas temperaturas como 177 °C (valor próximo da máxima temperatura de aquecimento do ligante asfáltico), apresentam-se menores variações das leituras de viscosidade com respeito ao teor de RMF.

4.4 Ensaio de ductilidade

A Tabela 4 e a Figura 7 apresentam os resultados dos ensaios de ductilidade dos ligantes modificados.

Tabela 4. Ensaio de ductilidade.

Tipo	Leitura 1	Leitura 2	Média (cm)
CAP 50/70	100	100	100
9% RMF	43	72	57,5
17% RMF	52	58	55
29% RMF	38	51	44,5
40% RMF	33	34	33,5

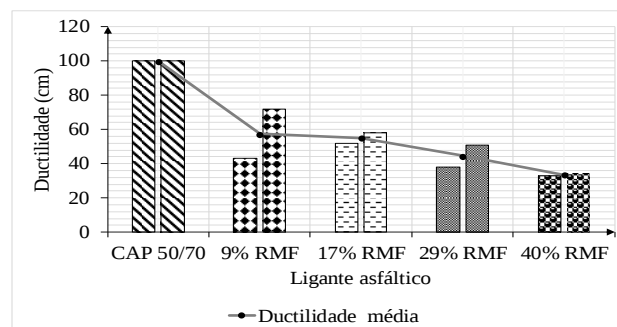


Figura 7. Ensaio de ductilidade.

Avaliando o comportamento do CAP modificado, concluiu-se que para todos os teores houve um decréscimo da medida da ductilidade. Para teores de RMF maiores que 17%, apresentam-se valores menores do que o preconizado para CAP 50/70 puro, sendo especificado valor mínimo de 60 cm. A perda da ductilidade para asfaltos modificados com teores maiores que 17% de RMF pode ser atribuída aos aumentos dos valores de consistência, tais como: diminuição da penetração; aumento do ponto de amolecimento da viscosidade, tornando o material menos dúctil ante a eventual ruptura.

5 CONCLUSÕES

Os asfaltos modificados com diferentes teores de Rejeito de Minério de Ferro (RMF) apresentaram maiores valores de consistência (menor penetração, maior ponto de amolecimento e viscosidade) que o CAP 50/70, podendo aumentar o desempenho mecânico da mistura, em termos de rigidez, a elevadas temperaturas. Portanto, a solução da disposição final de resíduos sólidos na matriz do asfalto é considerada viável dos pontos de vista técnico e ambiental. No entanto, são necessários maiores estudos de caracterização e comportamento reológico, considerando o efeito de envelhecimento a curto e longo prazo; assim como o estudo do desempenho mecânico dos concretos asfálticos utilizando os asfaltos modificados com RMF.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Brasília por proporcionar o Projeto de Iniciação Científica (PROIC) e ao CNPQ por incentivá-lo por meio da concessão de bolsas. Igualmente, agradecem ao INFRALAB pela disponibilização da infraestrutura para a realização dos ensaios e ao doutorando André Augusto Dantas pelo fornecimento de materiais.

7 REFERÊNCIAS

- Alves, F.E (2015). *Sustentabilidade. Como a mineração trata a água?* Revista Brasil Mineral, 352 ed., Signus, São Paulo, SP, Brasil, 60p.
- Bernucci, L.B; Motta, L.M.G; Ceratti, J.A.P; Soares, J.B. (2008). *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 504 p.
- CNT (2015). *Relatório gerencial*, Pesquisa CNT de rodovias, Confederação Nacional dos Transportes, Brasília, 422 p.
- Dantas, A.A.N. (2015). *Caracterização de resíduos oriundos do beneficiamento do minério de ferro para uso em pavimentação*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de Rio Grande do Norte, Natal, 109 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- _DNER 043/95 ME: *Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall*, 1995.
- _DNER 163/98 ME: *Materiais betuminosos – determinação da ductilidade*. Rio de Janeiro, 1998.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- _DNIT 131/2010 ME: *Materiais asfálticos – determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio*, 2010.
- _DNIT 155/2010 ME: *Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio*, 2010.
- IBRAM (2012). *Informações e análises da economia mineral Brasileira*, Instituto Brasileiro de Mineração, 7^a ed, Brasília, DF, Brasil, 68 p.
- IBRAM (2015). *Informações e análises da economia mineral Brasileira*, Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília, DF, Brasil, 25 p.
- Lozano, F.A.E. (2006) *Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica*, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, SP, 116 p.
- Martinez, J.G. (2013). *Evaluación de la consistência de ligante asfáltico com adición de resíduos sólidos de plantas de tratamento de agua potable PTA y de agua residual PTAR*. Simpósio de pavimentos, Bogotá, Colômbia, 4 p.
- Martinez, J.G. (2013). *Avaliação de viscosidade e variação de massa de ligante asfáltico modificado com adição de lodos de ETA e de ETE*. 42^a Reunião Anual de Pavimentação RAPV. Gramado, RS, Brasil, p. 13.
- Martinez, J.G. (2014). *Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE*. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, p. 116.
- Martinez, J.G.B. (2014). *Caracterização de resíduos de lodos de ETA e ETE de Brasília, para utilização como material filer em revestimentos asfálticos*. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos Engenharia Geotécnica COBRAMSEG, Goiânia, GO, Brasil, 8 p.
- CNI (2012). *Mineração e economia verde*. Confederação Nacional da Indústria. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília, 73 p.
- Patrício, C; Filho, E. M; Carvalho, J. N; Andrade, L. E; Campello, U. M. (2012). *Projeto de recuperação das cavas proporciona economia de mais de R\$ 20 milhões*. Revista Minérios & Minerales, 352^a ed., São Paulo, SP, Brasil, 44 p.
- Samarco (2014). *Relatório anual de sustentabilidade*, Belo Horizonte, MG, Brasil, 81 p.
- Spilka, G.B; Zamith, F.A.D; Chaise, M.J.C. (2016). A tragédia na barragem de Mariana – BR sob a ótica dos jornais portugueses, XVII Congresso de Ciências da Comunicação na Região Sul, Curitiba, PR, Brasil, 13 p.