

Eixo Temático ET-11-016 - Outros

VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM ADIÇÃO DE CINZA PESADA

Letícia Tramontin Martins¹, Joe Arnaldo Villena Del Carpio²

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Civil, SC;

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes, PR.

RESUMO

A cinza pesada, também chamada de cinza de fundo, é proveniente das usinas termelétricas por meio da queima do carvão fóssil pulverizado nas caldeiras para geração de energia. As mesmas são descartadas e depositadas em bacias de sedimentação localizadas aos arredores do complexo termelétrico. Não obstante, a cinza pesada em geral pode ser classificada como resíduo sólido Classe II - A, ou seja, um material não perigoso, porém, não inerte, de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 1004: 2004 – Classificação de Resíduos Sólidos. Por estes fatores é necessário o estudo ambiental prévio da cinza pesada em integração com a massa asfáltica utilizada, para que essa associação, cinza pesada/mistura asfáltica, não apresente problemas ambientais quando submetida a situações similares às condições naturais em que seria empregada em campo. No presente estudo, foi avaliada a resistência à tração por compressão diametral e o potencial poluente de misturas asfálticas de granulometria densa com adição de diversas porcentagens de cinza pesada. Os resultados dos ensaios mostraram que a mistura asfáltica, com adição de cinza pesada, tem uma elevada resistência à tração, no valor de 1,86 MPa, o qual é superior ao valor mínimo exigido para este tipo de material. A avaliação ambiental mostrou que os elementos químicos, considerados tóxicos, presentes na cinza pesada, quando envoltos pelo ligante asfáltico, não solubilizam no meio aquoso. Resultando, assim, em um material não perigoso e também inerte, o qual não irá causar contaminação do meio ou do lençol freático. Deste modo a cinza se mostra viável, técnica e ambientalmente, para ser usada nas camadas de revestimento de pavimentos asfálticos, gerando benefícios relativos à redução da demanda por materiais primários, redução de custos e dos problemas ambientais associados com a estocagem e disposição da cinza pesada nas bacias de sedimentação.

Palavra-chave: Cinza pesada; Mistura asfáltica; Resistência à tração por compressão diametral; Ensaio de solubilização; Reciclagem.

INTRODUÇÃO

A queima do carvão fóssil pulverizado nas caldeiras para geração de energia gera três tipos de resíduos tóxicos: escória, que é aquela de granulometria grosseira e apresenta blocos sintetizados com alto teor de carbono não queimado (10 a 20%); cinza leve, também chamada de cinza volante, a qual é constituída por partículas extremamente finas e leves; e a cinza pesada, também denominada cinza de fundo, que possui granulometria mais grossa que a cinza leve e teor de carbono não queimado entre 5 e 10% (ROHDE, 2006).

Silva (2006) destaca que a cinza leve ou volante é toda consumida pelas indústrias de cimentos. Já a cinza pesada ou de fundo é depositada em bacias de

sedimentação, localizadas aos arredores do complexo termelétrico. Rocha (2001) cita que a produção de cinza pesada no Brasil está concentrada na região sul, sobretudo nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e que somente em Santa Catarina a produção anual de cinzas alcança 818.000 toneladas, sendo que 30% desse total, aproximadamente 245.400 t, é correspondente a cinza pesada. Este material é quase todo descartado a céu aberto nas bacias de sedimentação. Não obstante, a produção deste subproduto é muito maior que o seu consumo. Deste modo, é importante proporcionar um destino adequado a ele, buscando o desenvolvimento sustentável.

Uma alternativa de uso deste subproduto da indústria seria seu uso como material constituinte de pavimentos asfálticos os quais são estruturas de múltiplas camadas que tem por finalidade resistir aos esforços gerados pelo tráfego dos veículos, propiciando aos usuários boas condições de rolamento, conforto, economia e segurança. A camada superficial do pavimento asfáltico é denominada de revestimento e está composta pela mistura asfáltica (agregados e ligante asfáltico). A variedade de agregados passíveis de utilização nos revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais. (BERNUCCI, et al., 2006).

A preocupação com a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais e os efeitos que a extração dos agregados pode causar sobre o meio ambiente torna indispensável o estudo de materiais alternativos empregados na pavimentação, que muitas vezes tem sido subutilizados ou mesmo descartados de maneira não sustentável ambientalmente. Neste sentido, o uso da cinza pesada em substituição parcial do esqueleto de agregados que compõem a mistura asfáltica se torna uma alternativa atraente. Para determinar a viabilidade técnica do uso da cinza pesada na mistura asfáltica seria necessário a realização de ensaios que avaliem a resistência da composição agregados, cinza pesada e ligante asfáltica.

Adicionalmente à determinação da viabilidade técnica, será necessário avaliar a viabilidade ambiental da mistura de forma que esta associação (cinza pesada/mistura asfáltica) não apresente problemas ambientais quando submetida a situações similares às condições em que será submetida em campo. A condição mais severa à qual a mistura poderia ser submetida em campo seria o contanto da mesma com água de chuva. A água poderia, eventualmente, remover a cinza pesada da matriz asfáltica e fazer com que os elementos de alta toxicidade presentes na cinza entrem em contato com o lençol freático ou possam contaminar fontes de abastecimento de água.

Segundo Santarem et al (2015) a cinza pesada, em geral, pode ser classificada como um resíduo sólido Classe II A, ou seja, de acordo com ensaios feitos com a mesma isolada, foi classificada como um resíduo não perigoso no ensaio de lixiviação, porém não inerte no ensaio de solubilização, baseando-se nos limites preconizados na NBR 10004 (ABNT, 2004a) que especificam os limites máximos de elementos prejudiciais ao meio ambiente em sua composição. Contudo, Depoi, Pozebon e Kalkreuth (2008) ressaltam que a concentração de elementos na cinza é extremamente variável e depende da composição do carvão que lhe deu origem, das condições e eficiência da sua combustão e dos dispositivos do controle de emissão. Da mesma forma, a composição química do carvão também é variável, dependendo de como este se formou e de seus teores de enxofre e matéria inorgânica, os quais implicam diretamente na sua qualidade, no seu poder de queima e na periculosidade dos resíduos gerados.

OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo é analisar a viabilidade técnica e ambiental de misturas asfálticas com o uso de cinza pesada. A viabilidade técnica será considerada satisfatória caso a resistência à tração da mistura seja superior ao valor mínimo especificado para este tipo de materiais. A viabilidade ambiental será considerada satisfatória caso os resultados do ensaio de solubilização realizados segundo a norma NBR 10006 (ABNT, 2004b) - Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos, atendam os limites máximos especificados pela mesma.

METODOLOGIA

Materiais

Agregados

Os agregados utilizados são provenientes da britagem de minerais basálticos, em Rio Cedro Médio - Nova Veneza/SC, fornecidos pela empresa Nunes Britadora. A Figura 1 apresenta os agregados utilizados. A granulometria dos agregados é mostrada na Figura 3.

Figura 43: Agregados utilizados no estudo.



Fonte: O autor (2015)
Legenda: a) Brita $\frac{3}{4}$ ".
b) Pedrisco.
c) Pó de pedra.
d) Areia artificial.

Cinza Pesada

A cinza pesada mostrada na Figura 2 foi coletada no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, na cidade de Capivari de Baixo/SC. A granulometria da cinza é mostrada na Figura 3.

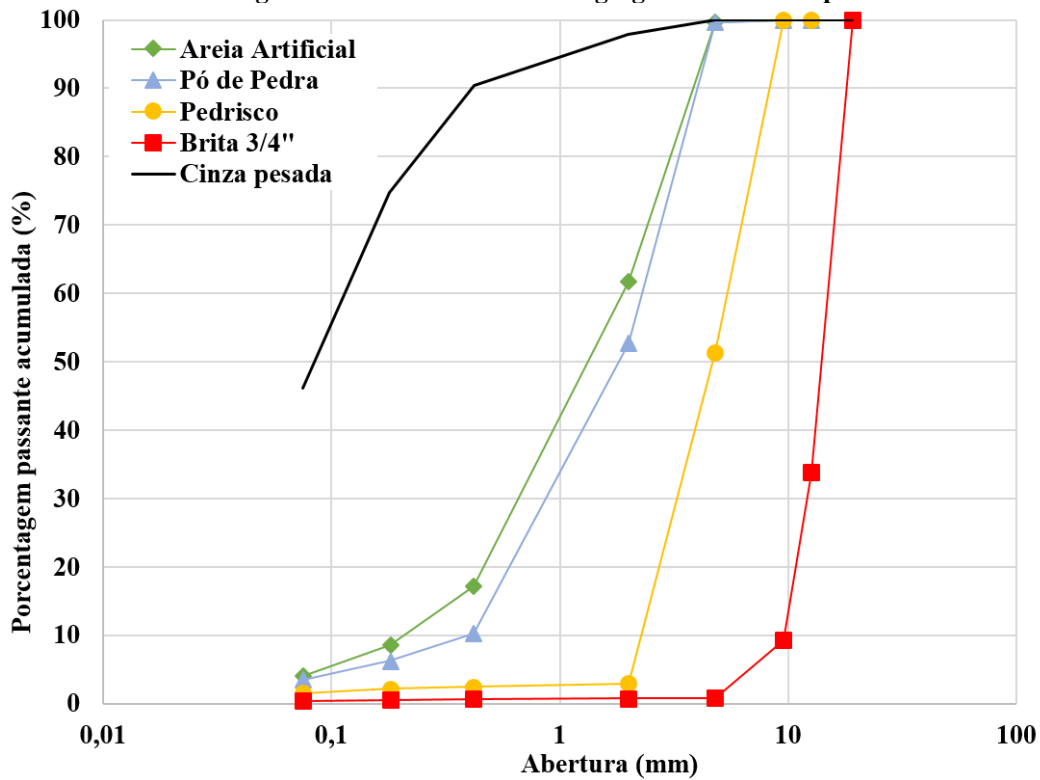
Figura 44: Cinza pesada peneirada.



Fonte: O autor (2015)

- Legenda: a) Retida na peneira #10.
b) Retida na peneira #40.
c) Retida na peneira #80.
d) Retida na peneira #200.
e) Passante na peneira #200.

Figura 45: Granulometria dos agregados e da cinza pesada.



Fonte: O autor (2015)

A cinza pesada utilizada na pesquisa foi, previamente, caracterizada quimicamente por Pavei (2014) a composição química dos elementos da cinza pesada é mostrada na Tabela 1.

Tabela 16: Composição química da cinza pesada.

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
SiO ₂	58,46	MgO	0,81
Al ₂ O ₃	23,63	Na ₂ O	0,55
Fe ₂ O ₃	5,00	BaO	0,10
K ₂ O	2,83	Co ₂ O ₃	0,09
CaO	1,17	P ₂ O ₅	0,07
TiO ₂	1,01	MnO	<0,05
Perda ao Fogo:		6,06	

Fonte: Pavei (2014).

Ligante Asfáltico

A Figura 4 apresenta o ligante asfáltico utilizado, fornecido pela Construtora Fernandes LTDA - Confer.

Figura 46: Ligante Asfáltico (CAP 50/70)



Fonte: O autor (2015)

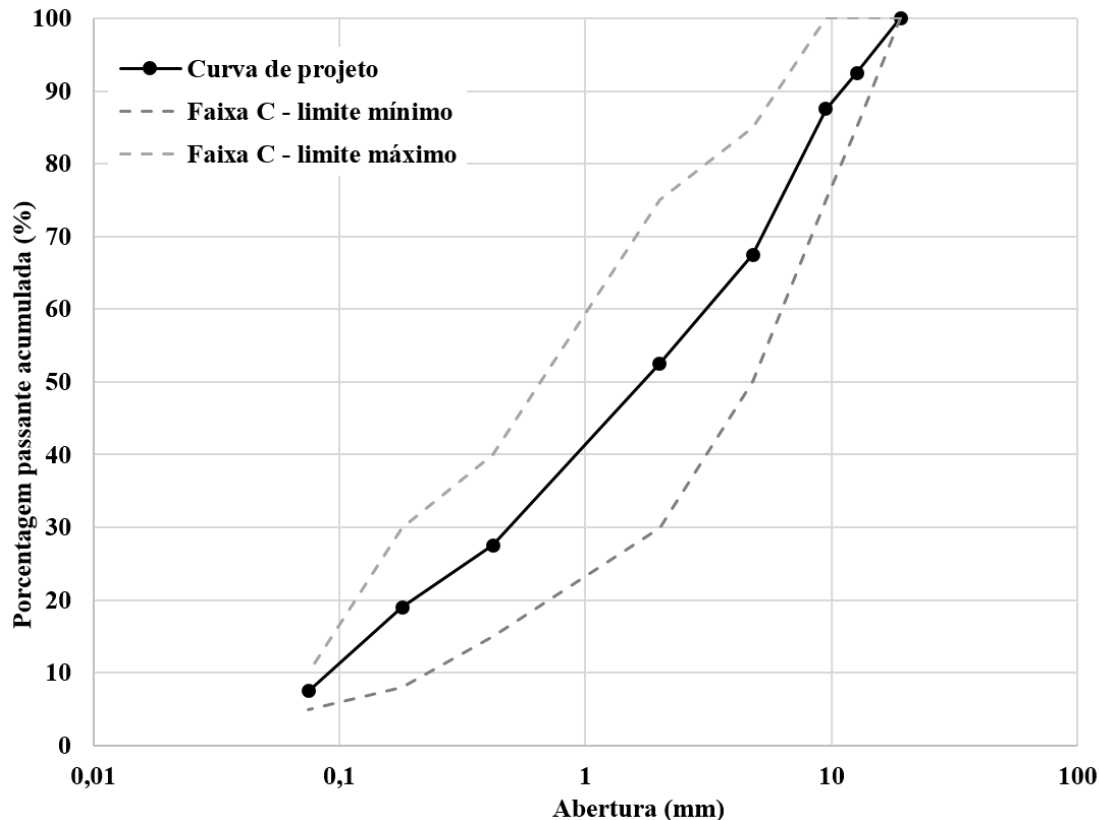
Métodos

Na presente pesquisa a cinza pesada foi utilizada para substituir parcialmente a massa dos agregados presentes na mistura asfáltica. Misturas sem e com adição de diversos porcentagens de cinza pesada foram dosadas segundo a metodologia Marshall. As misturas foram submetidas ao ensaio de resistência à tração para determinar a porcentagem de cinza pesada a ser adicionada à mistura asfáltica necessária para a mesma apresentar resistência similar à mistura sem adição de cinza. Posteriormente a mistura asfáltica com adição do teor ótimo de cinza pesada foi submetida ao ensaio de solubilização para determinar a inerticidade da mistura.

Composição Granulométrica das Misturas Asfálticas

Para realizar a dosagem e moldagem das misturas asfálticas foi definida uma combinação de agregados específica para todas as misturas estudadas. A curva granulométrica escolhida corresponde aos valores médios da Faixa “C” do Departamento de Infraestrutura de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2016), usada para pistas de rolamento com mistura asfáltica. Esta curva, denominada como curva de projeto, junto aos limites mínimo e máximo da Faixa “C” é mostrada na Figura 5.

Figura 47: Composição granulométrica da curva de projeto e da Faixa C do DEINFRA/SC.



Fonte: O autor (2015)

As misturas asfálticas com adição de cinza pesada foram dosadas de forma a substituir parcialmente a massa total de agregados das misturas por porcentagens variáveis de cinza pesada, mas mantendo a mesma distribuição granulométrica da curva de projeto. Como foi observado que parte da cinza pesada coletada apresentava grumos e impurezas os quais eram passantes na peneira #4 (abertura de 4,8 mm) e retidas peneira #40 (0,42 mm), foi decidido utilizar, para a substituição do agregado, somente as partículas de cinza pesada passantes pela peneira #40, as quais representam 90,37% da granulometria da cinza pesada. A composição granulométrica das misturas asfálticas estudadas (Referência – sem adição de cinza pesada, CP5 – adição de 5% de cinza pesada, CP15 – adição de 15% de cinza pesada, CP25 – adição de 25% de cinza pesada e CP50 – adição de 50% de cinza pesada) é mostrada na Tabela 2.

Dosagem das misturas asfálticas sem e com adição de cinza pesada

As misturas asfálticas sem e com adição de 5, 15, 25 e 50% de cinza pesada em relação ao peso dos agregados, denominadas de Referência, CP5, CP15, CP25 e CP50 respectivamente, foram moldadas seguindo o procedimento descrito na metodologia de dosagem Marshall, segundo a norma DNER-ME 043/1995 (BRASIL, 1995). A partir dos resultados deste procedimento, foi estimado um teor de ligante ótimo de 5% a ser utilizado em todas as misturas asfálticas a serem estudadas.

Tabela 17: Composição granulométrica das misturas asfálticas estudadas.

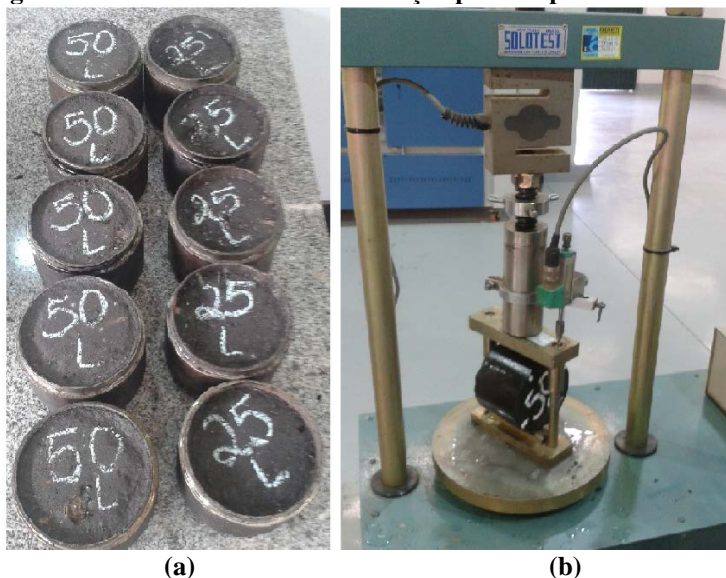
Peneira	Abertura (mm)	Porcentagem passante acumulada (%)									
		Referência		CP5		CP15		CP25		CP50	
		Ag. ^a	CP ^b	Ag. ^a	CP ^b	Ag. ^a	CP ^b	Ag. ^a	CP ^b	Ag. ^a	CP ^b
3/4"	19,10	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-	100,00	-
1/2"	12,7	92,50	-	92,50	-	92,50	-	92,50	-	92,50	-
3/8"	9,50	87,50	-	87,50	-	87,50	-	87,50	-	87,50	-
#4	4,80	67,50	-	67,50	-	67,50	-	67,50	-	67,50	-
#10	2,00	52,50	-	52,50	-	52,50	-	52,50	-	52,50	-
#40	0,42	27,50	-	26,13	1,38	23,38	4,13	20,63	6,88	13,75	13,75
#80	0,18	19,00	-	18,05	0,95	16,15	2,85	14,25	4,75	9,50	9,50
#200	0,075	7,50	-	7,13	0,38	6,38	1,13	5,63	1,88	3,75	3,75

Fonte: O autor (2015)

Resistência à Tração por Compressão Diametral

Após a definição do teor ótimo de ligante de 5% para todas as misturas estudadas, foi avaliada a resistência à tração por compressão diametral, norma DNIT 136/2010 – ME (BRASIL, 2010). Os resultados deste ensaio foram utilizados como parâmetro para definir a porcentagem ideal de cinza pesada a ser adicionada à mistura asfáltica sem alterar a resistência da mesma. Os corpos de prova moldados com 25% e 50% de cinza pesada e o ensaio de resistência à tração são mostrados na Figura 6.

Figura 48: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Misturas asfálticas CP25 e CP50.

b) Ensaio de resistência à tração em andamento.

Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos

Para esta etapa foram produzidas duas misturas asfálticas: a primeira, sem adição de cinza pesada, somente com agregados pétreos e ligante asfáltico, para servir de amostra de controle; a segunda, contendo além do ligante asfáltico e agregados, a adição de 5% de cinza pesada. A porcentagem de 5% de cinza pesada, foi adotada como ótima a partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração. As duas amostras foram submetidas ao procedimento de obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando avaliar a inerticidade da utilização deste material residual em situação similar às condições de chuva às quais o pavimento é submetido em campo.

O ensaio de Obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, norma NBR 10006 (ABNT, 2004b), consiste em avaliar a quantidade de elementos tóxicos nas misturas analisadas verificando os limites máximos admitidos e preconizados pela norma NBR ABNT 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos (ABNT, 2004a). Diferencia-se, assim, o material em inerte (extrato solubilizado com os elementos tóxicos dentro do limite da norma) e não inerte (extrato solubilizado com elementos tóxicos acima do limite da norma), conforme classificação da norma já citada.

Na cinza pesada estudada, existem vários elementos químicos considerados tóxicos, presentes em baixas quantidades (em nível de $\mu\text{g g}^{-1}$), e caracterizados por Pavei (2014) e mostrados na Tabela 1 dos quais foram analisados os seguintes: alumínio, ferro, sódio, bário e manganês. Para realizar a análise as duas amostras foram submetidas ao procedimento de secagem à temperatura de até 42°C , utilizando uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão ou estufa a vácuo e após, foi determinada a porcentagem de umidade. Na sequência, foi colocada uma amostra representativa de 250 g (base seca) do resíduo em frasco de 1.500 mL e adicionados 1.000 mL de água destilada desionizada e isenta de orgânicos. O frasco foi agitado por 5 minutos em baixa velocidade, coberto com filme de PVC e deixado em repouso por 7 dias, em temperatura até 25°C . Após este período, a solução foi filtrada por aparelho de filtração, guarnecido com membrana filtrante com $0,45\ \mu\text{m}$ de porosidade, resultando em extrato

solubilizado, para o qual se definiram o pH, o teor de umidade e as concentrações dos elementos já citados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à Tração por Compressão Diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração são mostrados na Tabela 3 e na Figura 7. Na Figura 7 observa-se que todas as misturas asfálticas estudadas com adição de cinza pesada apresentaram resultados inferiores aos da mistura de Referência. A mistura CP5 foi a única que apresentou um valor similar ao da mistura sem cinza. Desta forma a porcentagem de 5% de adição de cinza pesada foi escolhida para a realização do ensaio de Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos.

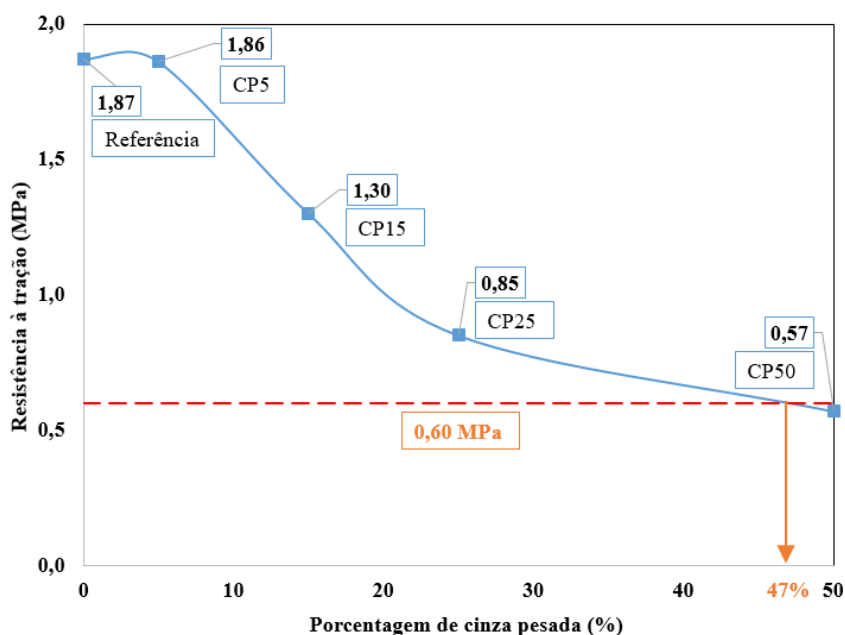
Os resultados de todas as misturas, no entanto, foram superiores ao valor mínimo de 0,60 MPa especificados pela a norma DNIT 031/2006-ES (BRASIL, 2006) para misturas asfálticas. Desta forma, constata-se que a maioria das misturas estudadas poderiam ser utilizadas para compor pavimentos asfálticos. Fazendo uma análise mais apurada, a partir dos dados mostrados na Figura 7, a porcentagem máxima de cinza pesada a ser adicionada à mistura asfáltica sem que a mesma apresente resistência inferior especificada em norma DNIT 031/2006-ES (BRASIL, 2006) seria de 47%.

Tabela 18: Resistência à tração das misturas asfálticas estudadas.

Corpo de prova	Resistência à tração (MPa)				
	Referência	CP5	CP15	CP25	CP50
1	1,72	1,78	1,34	0,84	0,54
2	1,98	1,80	1,29	0,84	0,55
3	1,90	1,99	1,29	0,86	0,63
Média (MPa)	1,87	1,86	1,30	0,85	0,57

Fonte: O autor (2015)

Figura 49: Resistência à tração das misturas estudadas em função da porcentagem de cinza pesada adicionada.



Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos

Após realizado o procedimento para obtenção de extrato solubilizado, segundo a norma NBR 10006 (ABNT, 2004b), foram avaliadas as quantidades de elementos tóxicos nas misturas analisadas e verificados os limites máximos admitidos pela norma NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos (ABNT, 2004a), conforme a Tabela 4.

Tabela 19: Análise quantitativa do extrato solubilizado das misturas asfálticas com e sem cinza pesada.

Parâmetros orgânicos (mg/L)	Limite máximo no solubilizado (mg/L)	Concentração no extrato solubilizado (mg/L)		Relação entre as concentrações da mistura de referência e da mistura com cinza pesada (%)
		Mistura de referência	Mistura com 5% de cinza pesada	
Substância				
Alumínio ^(*)	0,2	0,1	0,1	100,00
Ferro ^(*)	0,3	0,06	<0,02	33,33
Sódio ^(*)	200	7,34	9,74	75,36
Bário ^(*)	0,7	<0,1	<0,1	100,00
Manganês ^(*)	0,1	<0,01	<0,01	100,00
pH Inicial do Extrato Solubilizado ^(*)	2 < pH < 12,5	5,47	5,77	94,80
pH Final do Extrato Solubilizado ^(*)	2 < pH < 12,5	7,3	7,52	97,07
pH em água (1:1) ^(**)	2 < pH < 12,5	8,13	8,18	99,39
Umidade 42°C (%)	-	0	0	100,00
Umidade 105°C (%)	-	0,05	0,04	80,00
(*) : Metodologia segundo ABNT NBR 10006:2004 - Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos				
(**): Proporção de 50g de amostra para 50ml de água, segundo a ABNT NBR 10004:2004 - Classificação de Resíduos Sólidos				

Fonte: O autor (2015)

Com os resultados apresentados, pode-se perceber que tanto os resultados dos resultados correspondentes à mistura asfáltica de Referência, sem adição de cinza pesada, quanto à mistura CP5, ficaram dentro de todos os limites especificados por norma. Conclui-se, portanto, que a cinza pesada fica inerte quando adicionada à mistura asfáltica.

A análise do valor de pH destes materiais também é importante, uma vez que este parâmetro indica o potencial de elementos químicos nocivos que podem solubilizar e lixiviar devido a alcalinidade. Todavia, visto que as taxas de solubilização são muito influenciadas pelas variações do pH do meio, a presença de um pH mais neutro, como o

valor encontrado de 7,52 para a mistura com cinza pesada deste estudo, tende a minimizar a solubilização de metais pesados quando da percolação de água, sendo favorável no aspecto ambiental.

CONCLUSÕES

- A adição de cinza pesada não promoveu um incremento na resistência à tração das misturas asfálticas, para a curva granulométrica proposta no estudo. No entanto, a resistência à tração de todas as misturas estudadas, com exceção da mistura com adição de 50% de cinza pesada, foi superior ao mínimo especificado pela norma DNIT 031/2006-ES.
- O teor de cinza pesada a ser adicionada à mistura asfáltica de forma da mesma não apresentar resistência à tração inferior a 0,60 MPa, especificado pela norma DNIT 031/2006-ES, seria de 47%.
- Os resultados do ensaio de solubilização mostraram que nenhum dos elementos e compostos químicos analisados nas duas misturas asfálticas, sem e com adição de cinza, ultrapassaram o limite máximo permitido pela norma NBR 10004:2004. Isto significa que os elementos potencialmente perigosos e nocivos ao meio ambiente da mistura com adição de cinza não vão percolar nem contaminar o meio o qual estão, nem o lençol freático no caso de que a mistura asfáltica fosse exposta à água de chuva em campo.
- A partir dos resultados de todos os ensaios realizados, pode-se concluir que o uso da cinza pesada é viável tanto tecnicamente quanto ambientalmente, propiciando seu uso em revestimentos asfálticos em substituição aos agregados naturais, gerando assim benefícios relativos à redução da demanda por materiais primários, redução de custos com extração e recuperação dos passivos ambientais gerados pela exploração de jazidas além de reduzir os problemas ambientais associados com a estocagem e disposição da cinza pesada nos aterros e bacias de sedimentação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

BERNUCCI L. B., MOTTA L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B., **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro. Petrobras. Abeda, 2006. 501p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

BRASIL. **DNIT 136/2010-ME**: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração pro compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DEPOI, F. S., POZEBON, D., KALKREUTH, W. D. **Chemical characterization of feed coals and combustion-by-products from Brazilian power plants.** International Journal of Coal Geology 76 (2008) 227–236.

PAVEI, E. **Resistência à Tração de Misturas Asfálticas com Adição de Cinza Pesada.** 2014. 24p. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Criciúma, Santa Catarina.

ROCHA, J. C. **Aproveitamento de cinzas volantes e pesadas para a produção de concretos usinados, blocos e pavimentos de concretos:** Relatório Final do Convênio GS-15/99 – Gerasul Aneel. UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2001, v.1. 206 p.

ROHDE, G. M. **Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil:** aspectos técnicos e ambientais. 1. Ed. Porto Alegre-RS: CIENTEC, 2006. 202p.

SANTA CATARINA. Departamento Estadual de Infra-Estrutura (DEINFRA). **DEINFRA-SC ES-P:** Pavimentação: Camadas de misturas asfálticas usinadas a quente. Florianópolis, 2016.

SANTAREM, L. M. S., MALLMANN, J. E. C., KAUTZMANN, R. M., ALVES, K. R., SABEDOT, S. **Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental para o Aproveitamento de Cinzas Pesadas de Carvão Geradas em Termelétricas, para a Construção de Bases e Sub-Bases de Pavimentos Rodoviários.** 2015. 18p. 44° RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 18° ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Foz do Iguaçu, Paraná.

SILVA DA, A. J. **Estudo da viabilidade de utilização da cinza pesada em adição ao concreto compactado com rolo (ccr) destinado a camada de base de pavimentos híbridos.** 2006. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis.