

## ANÁLISE DAS CINZAS DE CARVÃO MINERAL COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA APLICAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Fernanda Lima Maciel; Cintia Leite Gonçalves

*Universidade CEUMA – fernanda.maciel@hotmail.com*

**Resumo:** Nas termelétricas a produção de energia é obtida através da queima do carvão mineral que tem as cinzas como subprodutos. Por não existir aproveitamento adequado, as cinzas são armazenadas e descartadas de modo que geram problemas ambientais. Assim, os objetivos deste trabalho foram buscar uma nova aplicação tecnológica para as cinzas do carvão mineral, reduzir os impactos causados pelo descarte inadequado, através da avaliação dos parâmetros volumétricos e do comportamento mecânico de misturas de cinza com os agregados que compõem o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), levando-se em consideração a substituição das cinzas pela areia e o teor de asfalto na mistura, para fins de aplicação na camada de revestimento da pavimentação asfáltica. Foram utilizados os ensaios seguindo as especificações e normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte e do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Os resultados indicaram que as misturas com cinzas são adequadas para uso na pavimentação asfáltica e que o teor de asfalto de 4,5% apresenta o melhor comportamento dessas misturas com cinzas, possibilitando o aproveitamento da cinza na construção de pavimentos rodoviários.

**Palavras-chave:** pavimentação asfáltica, cinzas de carvão mineral, aproveitamento sustentável.

### 1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos asfálticos são constituídos por base, sub-base, reforço do subleito e revestimento asfáltico, esta última se trata de uma mistura feita entre agregados e ligantes asfálticos, e cada uma desempenha uma função estrutural importante. Revestimento asfáltico é a camada superior que impermeabiliza o pavimento, recebe a ação direta do rolamento dos veículos e a transmite às camadas inferiores de modo atenuado, tem as funções de melhorar o rolamento no tocante à segurança e conforto e que deve apresentar resistências aos esforços horizontais a fim de garantir durabilidade à superfície (BERNUCCI, 2008).

Os revestimentos são identificados quanto ao tipo de ligante: a quente com o emprego de CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo (ao se enquadrar na classificação baseada em propriedades físicas que garantam o desempenho ideal do material na obra) ou a frio com o uso de EAP. Um dos tipos comumente utilizados no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). O CBUQ é uma mistura proporcional de agregados de várias graduações e cimento asfáltico aquecidos em

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

temperaturas previamente definidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante (BERNUCCI, 2008).

Na maior parte do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. Há diversos motivos para o asfalto ser intensamente utilizado na pavimentação, sendo os principais: ser impermeável, ter propriedades de termoviscoelasticidade, apresentar durabilidade e resistência à ação de vários compostos químicos e proporcionar uma resistente união entre os agregados ao agir como um ligante (BERNUCCI, 2008).

A escolha dos agregados utilizados no revestimento da pavimentação asfáltica é influenciada pela qualidade, custo e disponibilidade. Vários estudos apontam que as cinzas de carvão mineral possuem grande potencial de serem utilizadas na pavimentação e preenchimento de cava de mina de carvão (SABEDOT, 2011) e como aditivos em cimento e fabricação de tijolos (SABEDOT, 2015).

Considerando-se a relevância do tema abordado por este trabalho, o presente artigo tem como problema de pesquisa a grande produção de cinzas de carvão mineral e sua pouca aplicação tecnológica. Tal questionamento há de requerer tanto, uma revisão bibliográfica quanto, experimentos realizados em laboratório que sejam capazes de permitir análises e posterior confirmação da possibilidade de utilizar as cinzas de carvão na mistura do revestimento asfáltico, e, assim, mitigar os impactos gerados por esses resíduos, aplicando as cinzas na composição do revestimento asfáltico e reduzindo custos na produção da pavimentação asfáltica.

## **2. METODOLOGIA**

Os materiais utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa em laboratório serão os agregados, brita 1, brita 0, cimento, cinzas de carvão mineral, areia, provetas, recipientes de alumínio, espátula, frasco Chapman, soquete Marshall, cilindros Marshall, prensa Marshall, banho-maria, termômetro, balança e o ligante asfáltico.

Inicialmente se realizou a determinação da composição granulométrica dos agregados para obter peso parcial da amostra, porcentagem simples parcial, porcentagem acumulada e porcentagem da amostra passante.

A escolha da faixa granulométrica utilizada foi feita conforme as especificações a serem obedecidas, e, conseqüentemente a escolha da composição dos agregados para que a mistura atenda a faixa pré-definida. Definidos os valores, pesou-se a quantidade necessária para compor cada corpo de prova. Em cada corpo de

prova foram utilizadas percentagens diferentes de CAP, para efeito de comparação de resultados e posterior validação desta pesquisa, foram confeccionados corpos de prova com os agregados convencionais e corpos de prova com a cinza em sua composição substituindo a areia.

O método de dosagem e ensaio Marshall (DNER-ME 043/95), descrito na obra de Ceratti (2011), foi o adotado. No ponto ideal, as misturas foram depositadas nos cilindros onde foram compactadas. Os corpos de prova ficaram em repouso por 24h, posteriormente foram extraídos dos cilindros, pesados ao ar e imersos em água e medidos diametralmente, a fim de obter a massa específica aparente dos corpos de prova permitindo obter as relações volumétricas típicas da dosagem. Os corpos de prova em banho-maria e colocados no molde de compressão para determinar a fluência e estabilidade na Prensa Marshall.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas 1 e 2 apresentam os dados da porcentagem com base na análise granulométrica para a composição dos agregados.

**Tabela 1:** Composição dos agregados graúdos e do pó de brita em porcentagem.

PENEIRAS		BRITA 1 - 17%		PEDRISCO - 28%		PÓ - 43%	
Pol.	mm	Passa	Mistura	Passa	Mistura	Passa	Mistura
3/4"	19,1	100	17	100	28	100	43
1/2"	12,7	20,35	3,46	96,06	26,90	100	43
3/8"	9,5	6,95	1,18	80,62	22,57	100	43
n°4	4,8	0,75	0,13	12,79	3,58	99,74	42,89
n°10	2	0,75	0,13	0,16	0,04	82,71	35,57
n°40	0,42	0,75	0,13	0,08	0,02	37,88	16,29
n°80	0,18	0,56	0,10	0,04	0,01	18,87	8,11
n°200	0,074	0,38	0,06	0,00	0,00	6,73	2,89

**Fonte:** Pesquisa em laboratório

**Tabela 2:** Composição da areia, cimento e cinza em porcentagem.

AREIA -10%		CIMENTO - 2%		CINZA - 2%	
Passa	Mistura	Passa	Mistura	Passa	Mistura
100	10	100	2	100	2
100	10	100	2	100	2
100	10	100	2	100	2
100	10	100	2	100	2
99,74	9,97	100	2	100	2
23,51	2,35	100	2	100	2
1,87	0,19	100	2	100	2
0,16	0,02	96,51	1,93	94,65	1,89

**Fonte:** Pesquisa em laboratório

**Tabela 3:** Comparação entre os parâmetros obtidos na mistura e os parâmetros da especificação

Peneiras		Mistura obtida	Especificação (faixa c)		Faixa de projeto		Tolerância
Pol.	mm		Inferior	Superior	Inferior	Superior	
3/4"	19,1	100	100	100	100	100	+/- 7%
1/2"	12,7	85,4	80	100	78,4	92,4	+/- 7%
3/8"	9,5	78,8	70	90	71,8	85,8	+/- 7%
n°4	4,8	58,6	44	72	53,6	63,6	+/- 5%
n°10	2	44,9	22	50	39,9	49,9	+/- 5%
n°40	0,42	20,8	8	26	15,8	25,8	+/- 5%
n°80	0,18	10,4	4	16	7,4	13,4	+/- 3%
n°200	0,074	4,9	2	10	2,9	6,9	+/- 2%

**Fonte:** Pesquisa em laboratório

Como se observa na tabela 3, os parâmetros encontrados para a mistura estão compreendidos entre os limites determinados pela especificação.

A tabela 4 apresenta valores possibilitam obter as relações volumétricas típicas da dosagem através da determinação da massa específica aparente que é comparada com a massa específica máxima teórica. Essas relações volumétricas são parâmetros, calculados com os valores médios de três corpos de prova, que trabalham juntos para garantir a estabilidade e durabilidade do concreto asfáltico.

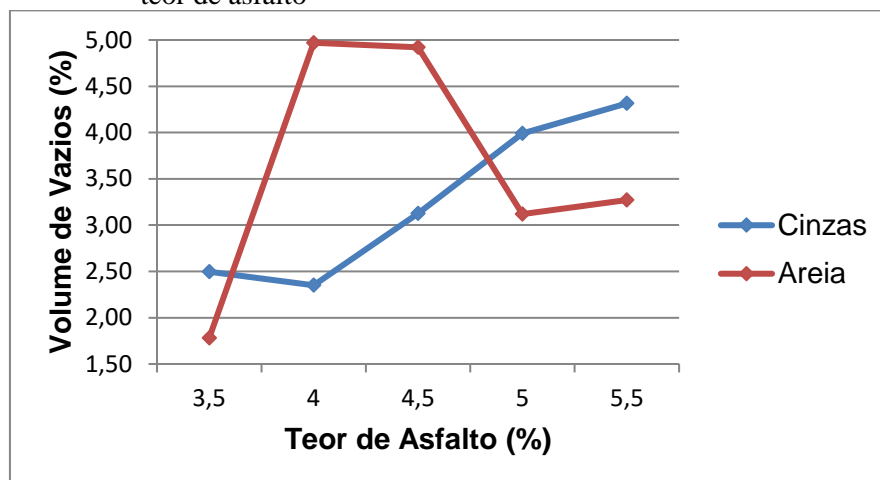
**Tabela 4:** Peso ao ar e imerso das amostras.

Teor de Asfalto	Peso ao Ar (g)		Peso Imerso (g)	
	Cinza	Areia	Cinza	Areia
3,5%	1189,0	1204,8	706,0	718,0
4,0%	1188,8	1192,8	697,0	694,0
4,5%	1182,7	1193,5	697,0	691,0
5,0%	1194,4	1199,0	702,0	700,0
5,5%	1180,4	1185,8	675,0	688,0

**Fonte:** Pesquisa em laboratório

O gráfico 1, apresenta a porcentagem do parâmetro de volume de vazios obtida para os diferentes teores de asfalto utilizados no preparo dos corpos de prova com cinzas e os com areia. A norma exige que o volume de vazios esteja compreendido entre 3 e 5, conforme apresentado no quadro 1.

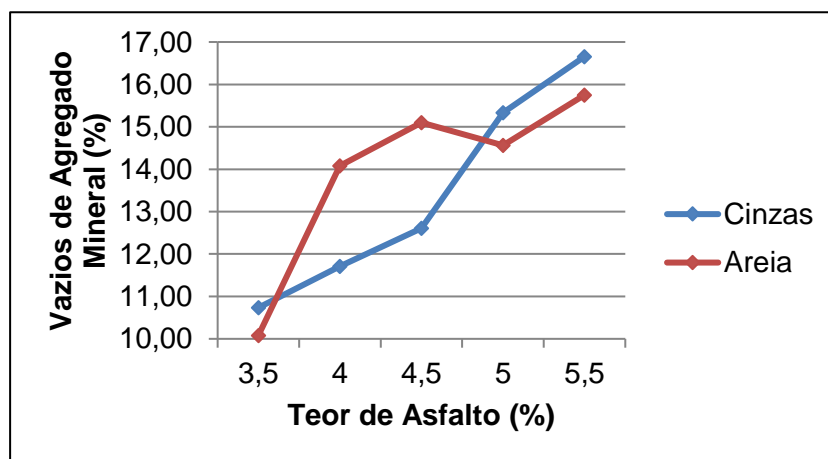
**Gráfico 1:** Volume de vazios das amostras com cinzas e com areia em função do teor de asfalto



Fonte: Pesquisa em laboratório.

O gráfico 2, apresenta as porcentagens do parâmetro de vazios do agregado mineral obtidas para os corpos de prova com cinzas e os com areia em cada teor de asfalto utilizado no preparo. A norma exige que os vazios do agregado mineral possuam valor inferior a 15.

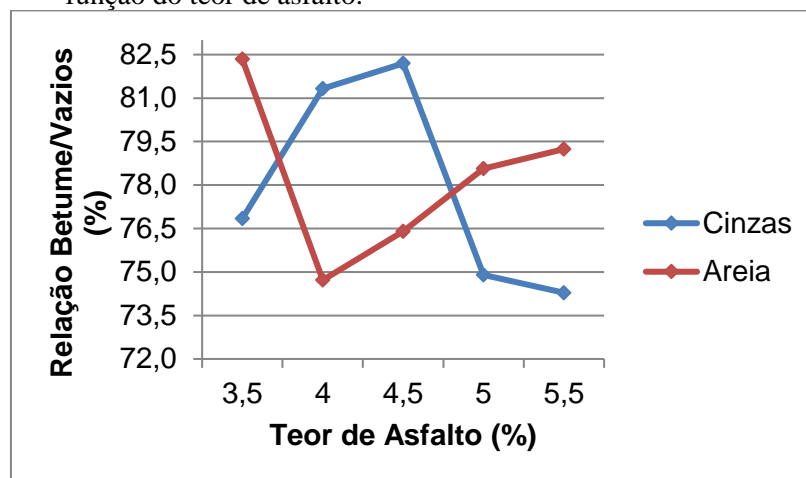
**Gráfico 2:** Vazio do agregado mineral das amostras com cinzas e com areia em função do teor de asfalto.



Fonte: Pesquisa em laboratório

O gráfico 3, apresenta a porcentagem do parâmetro de relação betume/vazios para os diferentes teores de asfalto utilizados no preparo dos corpos de prova. A norma exige que a relação betume/vazios esteja entre 75% e 82%.

**Gráfico 3:** Relação betume/vazios das amostras com cinzas e com areia em função do teor de asfalto.



Fonte: Pesquisa em laboratório

Como se observa no gráfico 3, todas as amostras com cinzas e teor de asfalto igual e menor que 4,5% tiveram valores satisfatórios. Excetuando as amostras com 4,0% de teor de asfalto, para todas as amostras com areia na composição foram obtidos valores compreendidos entre os limites máximo e mínimo que a norma estabelece.

O quadro 1 apresenta os valores encontrados para os parâmetros volumétricos obtidos para o teor ótimo de asfalto a partir do ensaio Marshall.

**Quadro 1:** Parâmetros volumétricos Marshall

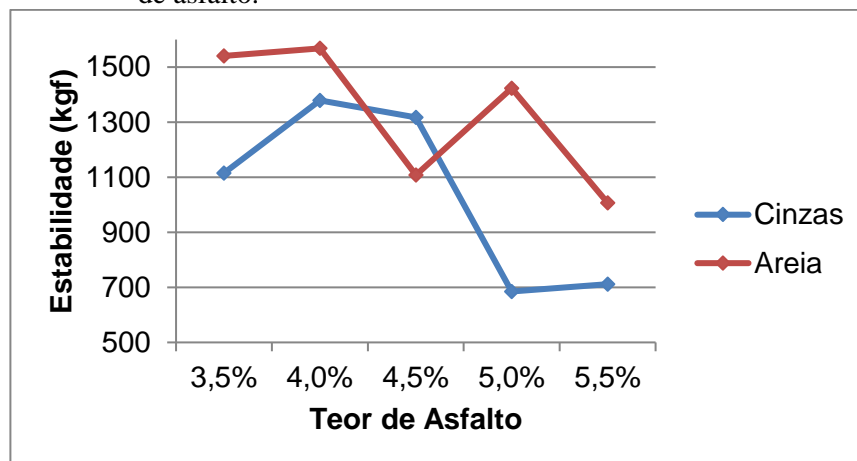
Parâmetros Volumétricos	Norma	Resultado	Projeto / Especificação	
			Mínimo	Máximo
Teor Ótimo de Asfalto (%)	DNER- ME 053	4,5	4,3	4,5
Densidade Aparente da Mistura (g/cm <sup>3</sup> )	DNER-ME 117	2,418	-	-
Densidade Máxima Teórica (g/cm <sup>3</sup> )		2,498	-	-
Volume de Vazios (%)	DNER-ME 043	3,06	3	5
Vazios de Agregado Mineral (%)		13,44	< 15	
Relação Betume / Vazios (%)		77,93	75	82

Fonte: Pesquisa em laboratório

Como se observa no quadro 1, os valores para os parâmetros de volumes de vazios, vazios de agregado mineral e relação betume/vazios resultantes do ensaio estão dentro dos limites estabelecidos pela especificação.

O gráfico 4, apresenta a estabilidade obtida para cada ponto das misturas feitas com cinza (Cinza 1 e Cinza 2) e a mistura referência (Areia). A especificação do DNIT 031/2006 ES estabelece o valor mínimo de 500 kgf para a estabilidade.

**Gráfico 4:** Estabilidade das amostras com cinzas e com areia em função do teor de asfalto.



**Fonte:** Pesquisa em laboratório

Como se observa no gráfico 4, todas as amostras alcançaram um valor maior que 500 kgf para a estabilidade, embora que as amostras com cinza em sua composição atingiram valores inferiores aos obtidos para as amostras de referência, a mistura com o uso da cinza é válido por ter atingido valores superiores ao mínimo estabelecido pela norma.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo quanto a análise granulométrica, volume de vazios, vazios de agregado mineral, relação betume/vazios e estabilidade estiveram em conformidade com as respectivas normas que os regem, ao adotar um teor ótimo de asfalto de 4,5% e substituir a areia por cinza de carvão mineral.

Todos estes parâmetros citados influenciam diretamente nas propriedades essenciais como rigidez, durabilidade, permeabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente. A estabilidade faz com que o revestimento asfáltico apresente resistência aos esforços horizontais a fim de garantir durabilidade à superfície.

Assim, levando em consideração os parâmetros analisados neste estudo, é possível dar aplicação tecnológica às cinzas de carvão mineral na mistura do revestimento da pavimentação asfáltica, evitar seu descarte inapropriado e reduzir os impactos que a mesma tem sobre o meio ambiente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6023:** Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7207:** Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10520:** Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14724:** Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** PETROBRAS e ABEDA. Rio de Janeiro, 2008.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; DE REIS, Rafael Marçal Martins. **Manual de dosagem de concreto asfáltico.** Oficina de Textos, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de pavimentação.** 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

SABEDOT, Sydney *et al.* Caracterização e aproveitamento de cinzas da combustão de carvão mineral geradas em usinas termelétricas. In: **Anais do III CONGRESSO DE CARVÃO MINERAL.** 2011.

SABEDOT, Sydney *et al.* **Tecnologia mineral para cinzas da combustão de carvão mineral da região carbonífera do baixo Jacuí-RS.** Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 12, n. 3, 2015.