

# **36.<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36.<sup>a</sup> RAPv**

**CURITIBA/PR - BRASIL - 24 a 26 de agosto de 2005**

**Local: Auditório I da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP)**

## **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DA CINZA PESADA EM ADIÇÃO AO CONCRETO COMPACTADO COM ROLO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS COMPOSTOS**

*Glicério Trichês<sup>1</sup>; Alexandre Jose da Silva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> : Almirante Lamego 674 Apto 501 Florianópolis – SC. Email: ecv1gtri@ecv.ufsc.br

<sup>2</sup> : Rua Pinhalzinho 81-E Bairro Efapi Chapecó – SC. Email: ajs\_silva@yahoo.com.br

## RESUMO

O crescente carregamento imposto pelo tráfego aos pavimentos brasileiros tem levado ao aparecimento excessivo de trincas e afundamento da estrutura. Uma das formas de combater estas patologias seria a execução de estruturas com camadas cimentadas. Paralelamente, é observada uma crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e, no setor rodoviário, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para aproveitar os subprodutos originados na indústria. Esta pesquisa apresenta os resultados da incorporação de diferentes teores de cinza pesada, proveniente da Termelétrica Jorge Lacerda, localizada na cidade de Capivari de Baixo no estado de Santa Catarina (SC), ao Concreto Compactado com Rolo (CCR), em substituição à areia natural que é empregada na sua composição granulométrica. A pesquisa se dividiu em: a) Definição da composição granulométrica de referência, onde a areia natural entra com um teor de 22 %, para um consumo de cimento de 80 Kg/m<sup>3</sup>; b) Substituição da fração de areia natural por diferentes teores de cinza pesada nas proporções de: 25%, 50% e 100%; c) Determinação das condições ótimas de compactação com o emprego da energia do Proctor Intermediário; e, d) Determinação da resistência à compressão simples e módulo de deformação para a idade de 28 dias de cura. Os resultados obtidos indicam que a areia natural pode ser substituída por cinza pesada, sem prejuízo as propriedades mecânicas e, para os teores de cinza pesada usados, observou-se um incremento de 21,94% a 89,61% na resistência e 146,36% a 199,04% no módulo de deformação após a idade de cura. Portanto, é possível a utilização deste subproduto na dosagem do CCR, propiciando assim a diminuição do impacto ambiental na região de influência da termelétrica.

Palavras chave: Cinza pesada, Concreto Compactado com Rolo, meio ambiente.

## ABSTRACT

The growing traffic load imposed to pavement in Brazil, have been causing excessive cracking and reeffing in the structure. One way of combating these pathologies would be the execution of structures with cemented layers. Parallel, there is a growing concern with the preservation of the environment which has been leading research on the utilitation of by-products in pavement applications. This research it presents the results of botton ash the incorporation to a RCC mixture in substitution to natural sand. The botton the ws originated by Jorge Lacerda state of Santa Catarina. The research divided in. a) Definition of the reference grain sized composition, considering natural sand with a 22% level for a 80 Kg/m<sup>3</sup> cement conception; b) Substitution of the fraction of natural sand for different wels of bottom ash in the proportions of 25%, 50% and 100%; c) Determination of the optimum compaction conditions using a Proctor Middleman's energy; and, d) Determination of compressive strength the and deformation modules at 28 days of cure. The obtained results indicate that natural sand can be replaced by heavy ash with an observed beneficial effect mechanical properties. For the levels of heavy ash applied, compreensive strength incremented in 21,94% to 89,61% deformation modules incremented in 146,36% to 199,04%. Therefore, it is possible to use this by-product in CCR proportioning, allowing a decrease in the invironmental impact in the area of influence o the Thermoelectric.

Key-words: Bottom ash, Roller Compacted Concrete, environment.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos observa-se uma falta de investimentos públicos tanto para a construção como para a manutenção da malha viária brasileira, resultando numa queda acentuada da serventia das rodovias. Em pesquisa realizada pela Confederação Nacional de Transporte (CNT), os números referentes a 2004 impressionam: São 36,4% das rodovias avaliadas como deficientes; 23,7% classificadas como ruins e 14,6% em péssimas condições para os motoristas. Entretanto, em pesquisa recente desenvolvida pela mesma entidade, é comprovado que 58,5% da malha rodoviária brasileira encontra-se com pavimento em estado deficiente, ruim ou péssimo. Acrescenta, ainda que, trechos com afundamentos, ondulações ou buracos aparecem em 8.077 km das rodovias federais.

A maioria dos pavimentos brasileiros possui na sua estrutura a camada de base executada em brita graduada, a qual não tem mais suportado o crescente carregamento imposto pelo tráfego. Neste cenário, torna-se muito importante o desenvolvimento de novas tecnologias que resultem estruturas mais rígidas para conseguir minimizar as patologias que estão ocorrendo de maneira precoce na camada de revestimento. O desenvolvimento de pavimentos compostos formados por camadas rígidas e flexíveis seria uma forma de combater as patologias que estão ocorrendo nos pavimentos. Como camada rígida o Concreto Compactado com Rolo (CCR) torna-se uma tecnologia muito favorável por combinar custo atrativo e facilidade de execução com maior durabilidade, resistência e baixa deformação. É interessante salientar que o uso de matérias alternativas na dosagem do CCR é de suma importância, pois quanto à disponibilidade e obtenção da matéria-prima, como os agregados naturais, além de muitas vezes precisarem ser trazidos de locais distantes da obra, aumentando o valor final de construção e/ou manutenção, estão sendo cada vez mais controlados quanto a sua exploração, pelos órgãos e leis ambientais. Com o objetivo de adequar o uso de materiais alternativos como os agregados pulverizados, onde se destaca a cinza pesada, esta pesquisa procurará dar ênfase à utilização deste material em substituição parcial e/ou total da areia natural.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Cinzas Úmidas ou Pesadas

As cinzas pesadas são definidas como materiais cuja formação depende: i) da composição do carvão; ii) do grau de beneficiamento e moagem do carvão; iii) do tipo do carvão; iv) projeto e operação da caldeira; e, v) do sistema empregado para a extração e manuseio das cinzas [1].

De acordo com a AMERICAN ROAD AND TRANSPORTATION BUILDERS ASSOCIATION (ARTBA), o primeiro amplo uso conhecido de uma base de cimento estabilizada com cinza pesada nos Estados Unidos da América (EUA) teve uso no estado de West Virgínia, mas precisamente na rodovia ROTA – 2, durante 1971 – 1972. Para esta obra, foi usada uma mistura com 46% de cinza pesada e 54% de escória de alto forno provenientes da Companhia Energética Americana de Mitchell e da Usina de Kammer, respectivamente. Em pesquisa realizada em 1992 naquele país, foi indicado que em cinco estados norte-americanos estava sendo usada cinza pesada para aplicações em alguns tipos de bases estabilizadas e, em 1996, informou-se que foram usados 0,7 milhões de toneladas de cinza pesada na execução de camadas de base ou mistura de sub-base. É interessante destacar que nos EUA o carvão mineral não é pulverizado antes da queima como acontece no Brasil devido a melhor qualidade do carvão norte-americano.

No Brasil a cinza pesada é frequentemente usada como um substituto de baixo custo em areias para produção de blocos de concreto, blocos de vedação, briquetes de pavimentação e concretos moldados “in loco”, apresentando a mesma qualidade que os tradicionais e podendo resultar uma economia de até 40% no custo final da obra [1]. Além das aplicações em matrizes de concreto, também foram desenvolvidos, no Brasil, estudos analisando a utilização das cinzas pesadas em misturas solo/cinza pesada e cal hidratada destinada a camada de reforço de subleito, sendo já comprovada a viabilidade de sua utilização na pavimentação no que se refere ao desempenho mecânico e, no que se refere ao uso da cinza pesada na aplicação prática, destaca-se a execução de obras de infra-estrutura e urbanização nas áreas periféricas dos municípios de Charqueadas (RS) e São Jerônimo (RS) [2].

### Concreto Compactado com Rolo

O Concreto Compactado com Rolo (CCR) é um concreto de consistência seca, não mensurável pelo ensaio de abatimento do troco de cone e se difere do concreto convencional principalmente no que diz respeito a trabalhabilidade e consistência [3].

A idéia de se empregar o CCR na construção de pavimentos não é recente. A primeira aplicação de CCR que se tem notícia foi realizada na Escócia em 1865. Por iniciativa de George Bartholomew, em 1893 em Bellefontaine no Estado de Ohio (EUA) construiu-se o que pode ser definido como o primeiro pavimento de CCR, por apresentar consistência seca e ter sido aplicado pelo processo de compactação [4]. Em obras de pavimentação o CCR teve aplicação sistemática e fundamentada em dados experimentais a partir de 1944 na Inglaterra, sendo dignos de notas as rodovias Crawley com 70 km e a de Londres – Birmingham com 100 km [5].

Quanto ao uso do CCR no Brasil, existem alguns registros históricos onde se destaca a pavimentação do Vale do Anhangabaú no estado de São Paulo (SP) em 1946, a pavimentação do aeroporto de Congonhas (SP) em 1950, a execução de alguns pavimentos no Rio de Janeiro no ano de 1954 [6] e em 1972 a execução de algumas obras na cidade de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul (RS), onde o CCR foi aplicado como camada de base do pavimento asfáltico em vias urbanas [7]. Mas, infelizmente, a sua pequena utilização na execução de camadas de pavimento se devia principalmente por ele ser empregado em grande escala na construção de barragens. Na Tabela 1 é apresentada as principais propriedades mecânicas do CCR [8], enquanto que a Tabela 2 mostra as espessuras recomendadas para camadas de base e sub-base executadas com esta tecnologia [5].

Tabela 1 – Propriedades típicas do CCR usado em camadas de base e sub-bases nos pavimentos brasileiros

Tipos de uso	Resistência à compressão simples (MPa) – 7 dias	Consumo de cimento (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de deformação (GPa) – 28 dias
Base: pavimento rígido e flexível	5 – 8	85 – 115	14 – 16
Sub-base rígida	8 – 12	115 – 150	16 – 22
Sub-base	12 – 20	225 – 250	22 - 30

Tabela 2 – Recomendações de espessura de base de concreto rolado em função da intensidade de tráfego

Intensidade de tráfego comercial (veículos/dia)	Espessura da camada de base em CCR (cm)
4500 ou mais	20
1500 até 4500	18 a 20
450 até 1500	15 a 18
450 ou menos	10 a 12

### Vantagens do uso do CCR em Camadas de Pavimento

O uso de CCR em camadas como base e sub-base de pavimentos apresentam algumas vantagens [9] [10], a nível global, tais como:

- Vida útil de mais de 20 anos, com pequena manutenção;
- Construção com equipamento comum e mão-de-obra já disponível nas construtoras.

### Metodologia de Dosagem

A dosagem do CCR é geralmente executada pelo método do menor volume de vazios, ou seja, consiste em encontrar a melhor proporção entre os agregados de maneira a proporcionar o menor volume de vazios possíveis entre os agregados. A dosagem do CCR [11] pode ser elaborada através do seguinte procedimento:

- Definição da composição granulométrica dos agregados para que a mistura se enquadre na curva escolhida;
- Se Fixa o consumo de cimento, e calcula-se, para diferentes umidades, a proporção Cc:m, através da seguinte equação:

$$C_c = \frac{1000 - V}{\frac{1}{ME_c} + \frac{1}{ME_{ag}} + \frac{h(1+m)}{100}} \quad (1)$$

Onde:

**Cc:** Consumo de cimento da mistura (kg/m<sup>3</sup>);

**V:** Volume de vazios na mistura, em litros (adotado V = 5%);

**m:** Quantidade de agregado total por quantidade de cimento, em um metro cúbico de CCR;

**h:** Teor de umidade da mistura;

**Mec:** Massa específica do cimento, em kg/m<sup>3</sup>;

**Meag:** Massa específica do agregado total, em kg/m<sup>3</sup>.

- c) Para um mesmo consumo de cimento, variando-se o teor de umidade, têm-se diferentes quantidades “m” de agregado total. É possível então, através de um ensaio de compactação se determinar o teor de umidade que fornece a massa específica aparente seca máxima (MEAS<sub>máx</sub>).

### Energia de Compactação

Para a compactação do CCR em laboratório é adotado o mesmo procedimento empregado na compactação de solos, através do método de Proctor, empregando-se geralmente a energia intermediária de compactação. A compactação do CCR se diferencia da compactação de solos no que diz respeito ao número de camadas, número de golpes e dimensões do molde utilizado. Neste ensaio são determinados o teor ótimo de umidade e a MEAS<sub>máx</sub>.

### Resistência à Compressão Simples e Módulo de Deformação

As resistências obtidas para o CCR são aproximadamente 15% a 30% mais elevadas do que as do concreto convencional com mesmo teor de cimento [12]. O módulo de deformação do CCR assemelha-se a do concreto convencional e é definido como a relação entre a tensão e a deformação reversível [12] [13].

### Materiais

#### Agregados

Em princípio, não há restrições quanto ao uso dos agregados na produção do CCR, desde que atendam as condições especificadas por norma, como por exemplo, a granulometria, ausência de matéria orgânica e contaminação de torrões de argila nos agregados miúdos [3]. Para a ARTBA, os agregados podem ser convencionais, como pedra britada ou areia, e ainda outros materiais não convencionais como escória de alto forno, materiais reciclados de pavimentos e cinza pesada. Nas figuras 1 e 2 são, respectivamente, apresentadas algumas composições granulométricas empregadas em alguns países.

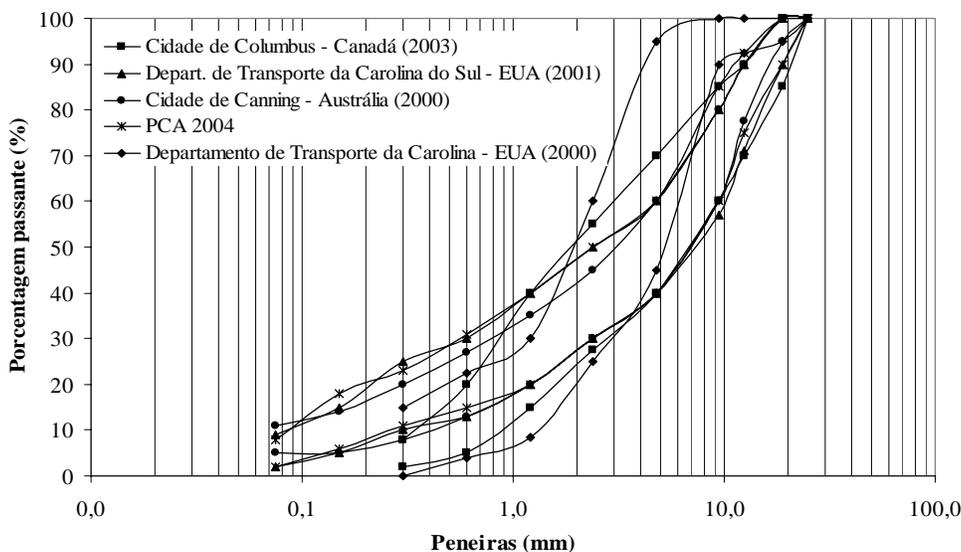


Figura 1 – Composições granulométricas empregadas em alguns países

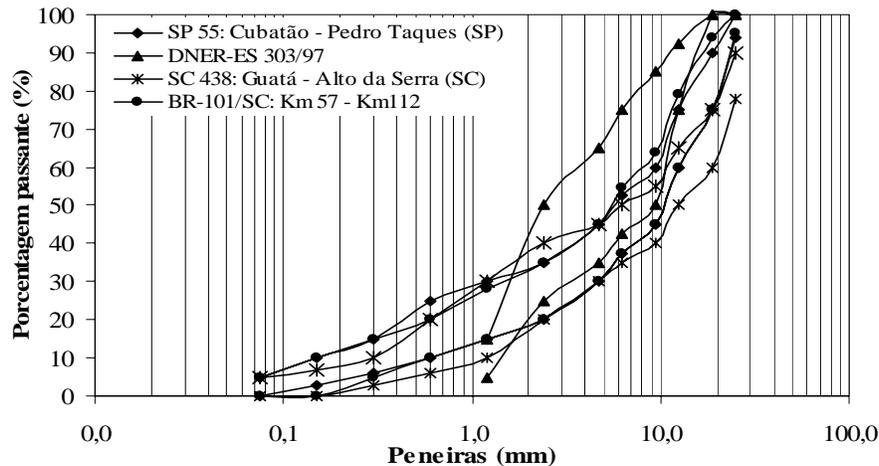


Figura 2 – Composições granulométricas empregadas no Brasil

### Materiais Cimentícios

O CCR pode ser dosado com qualquer tipo de cimento, sendo que o seu consumo, no caso de uso em camada base ou sub-base de pavimentos varia entre  $80 \text{ kg/m}^3$  e  $200 \text{ kg/m}^3$ , valores estes associados principalmente às propriedades mecânicas requeridas, o qual deve atender os mesmos requisitos usados para o concreto convencional [9].

### Água

A porcentagem ótima de água no CCR varia de 4% a 7% da massa dos materiais secos. O CCR é muito mais sensível às variações do conteúdo de água do que outros concretos de cimento Portland, sendo que, a falta de água aumenta a probabilidade de segregação, dificultando a compactação e o acabamento superficial, enquanto que o excesso de água faz com que a mistura de CCR se torne muito plástica, o que dificulta a compactação [14].

### METODOLOGIA ADOTADA NA PESQUISA

A metodologia adotada na pesquisa se dividiu nas seguintes etapas:

- Definição de uma composição granulométrica de referência para o CCR, onde a areia natural entra com um teor de 22% para um consumo de cimento de  $80 \text{ kg/m}^3$ ;
- Substituição da fração da areia natural na composição granulométrica de referência por teores de cinza pesada nas proporções de 25%, 50% e 100%;
- Determinação das condições ótimas de compactação empregando-se a energia do Proctor intermediário; e,
- Para as condições ótimas de compactação foram moldados corpos-de-prova (CP's) cilíndricos de  $15 \times 30 \text{ cm}$  para a determinação da resistência à compressão simples e módulo de deformação para a idade de 28 dias.

### MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização desta pesquisa de laboratório foram utilizados os seguintes materiais:

- Agregados:** Os agregados graúdos foram originados a partir da britagem do granito e tiveram procedência da cidade de São José – SC. As graduações utilizadas foram de #25 mm, #19 mm, pedrisco e pó de pedra. A areia natural foi extraída do rio Tubarão na cidade de Tubarão (SC) e a cinza pesada foi coletada nos setores de armazenagem números 7 e 8 da Termelétrica Jorge Lacerda. Nas figuras 3 e 4 são mostradas, respectivamente, as curvas granulométricas da areia natural e dos agregados graúdos, enquanto que na figura 5 e tabela 3 são mostradas a curva granulométrica e a composição química da cinza pesada;

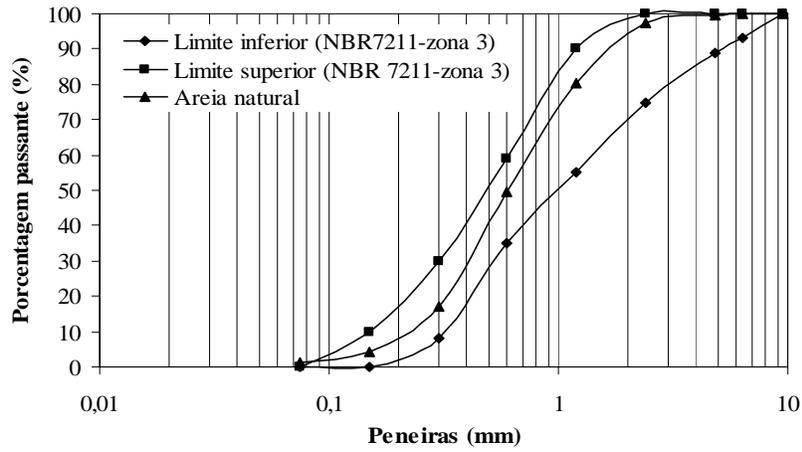


Figura 3 – Curva granulométrica da areia natural

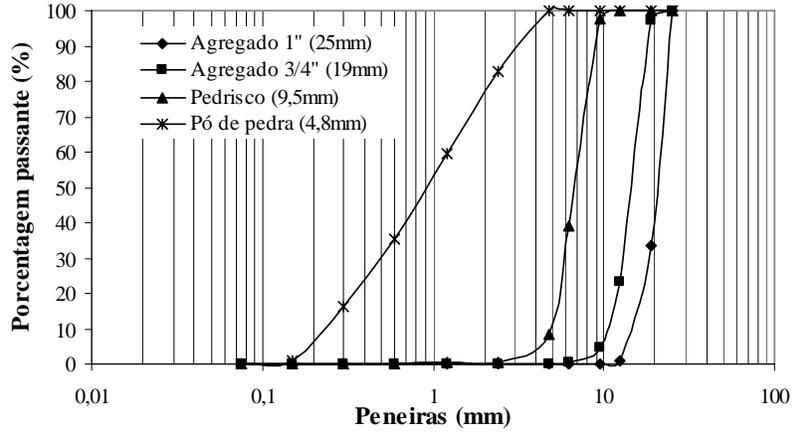


Figura 4 – Curva granulométrica dos agregados graúdos

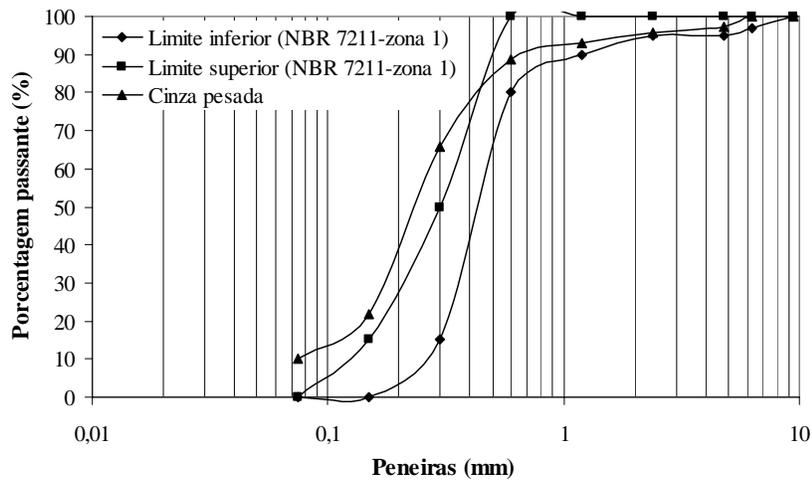


Figura 5 – Curva granulométrica da cinza pesada

Tabela 3 – Composição química da cinza pesada

Óxidos	
SiO <sub>2</sub>	56,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,80
MgO	0,60
CaO	0,80
Na <sub>2</sub> O	0,20
K <sub>2</sub> O	2,60
TiO <sub>2</sub>	1,30
S	0,10
LOI	4,60

- **Água:** A água usada foi fornecida pela companhia de tratamento local; e,
- **Cimento:** Foi usado um cimento pozolânico CP II – Z 32, produzido na cidade de Rio Branco no estado do Paraná.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Composição Granulométrica

A composição granulométrica do CCR baseou-se em uma mescla feita entre as composições empregadas no Brasil e no exterior. Na tabela 4 são mostradas as porcentagens em massa de cada material usado para a montagem da composição granulométrica.

Tabela 4 – Porcentagem de material usado na composição granulométrica

Composição granulométrica	
Materiais	Porcentagem em massa (%)
Agregado 1" (25mm)	12,00
Agregado ¾" (19mm)	18,00
Pedrisco (9,5mm)	25,00
Pó de Pedra (4,8mm)	15,00
Agregado peneirado (<2,38mm)	8,00
Areia natural (2,4mm)	22,00

*OBS: A areia natural será substituída por diferentes teores de cinza pesada*

O agregado peneirado (<2,38mm), que é mostrado na tabela 4, é composto pelos materiais retidos na peneira #1,2 mm, #0,60 mm, #0,30 mm, #0,15 mm e #0,075 mm e foi adotado devido há ausência de material fino na curva granulometria de referência. A tabela 5 mostra as porcentagens usadas para cada uma das graduações citadas para o agregado peneirado.

Tabela 5 – Porcentagem de material adotada para a composição do agregado peneirado (<2,38mm)

Peneiras (mm)	% de material usado
1,20	44,95
0,60	1,60
0,30	6,60
0,15	14,60
0,075	32,25

Como a composição granulométrica é composta por 22% de areia natural, na figura 6 é mostrada o comportamento da curva granulométrica conforme se substitua a porcentagem de areia natural pelos teores de 25%, 50% e 100% de cinza pesada.

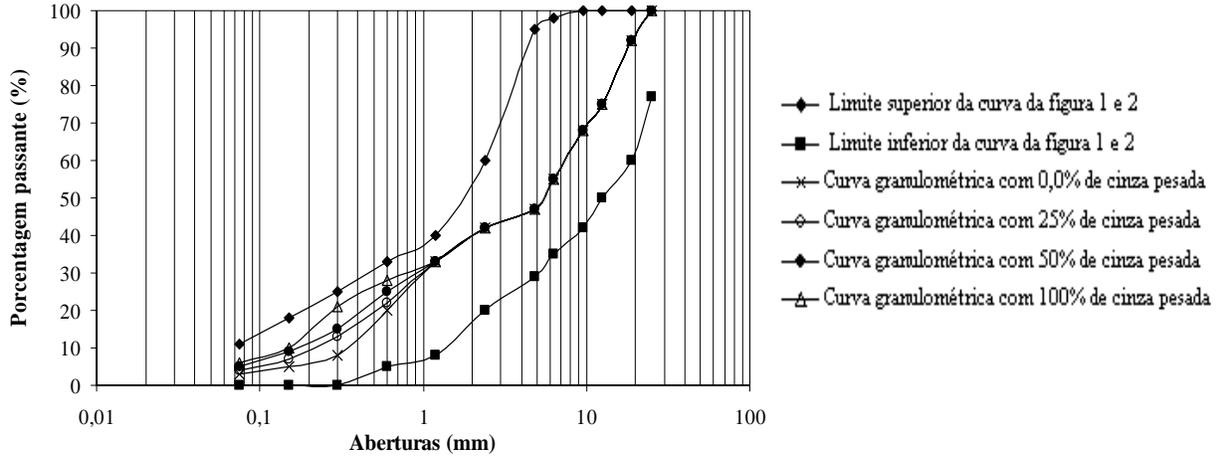


Figura 6 – Comportamento da curva granulométrica com a substituição da areia natural por cinza pesada

Através da análise das curvas granulométricas mostradas na figura 6 nota-se que, a partir do momento que a cinza pesada é usada como substituta da areia natural, há um aumento da quantidade de material com graduação entre #2,38mm e #0,15mm, o que ocasiona um melhor rearranjo dos agregados diminuindo os vazios existentes. Portanto, é possível concluir que isso pode resultar em uma melhor compactação, aumentando a área superficial e vir influenciar positivamente na resistência final da mistura.

### Curvas de Compactação

A compactação das misturas foi executada empregando-se os mesmos procedimentos adotados para a compactação de solos. Para obter as curvas de compactação utilizou-se a energia do Proctor Intermediário e cada mistura foi compactada com o auxílio de um soquete com massa igual a 4,5 kg sendo que a altura de queda do soquete era de  $\pm 45$  cm. O molde utilizado foi um molde cilíndrico de 15x30 cm e cada corpo-de-prova foi moldado em 5 camadas com aplicação de 65 golpes/camada. As figuras 7 e 8 mostram as curvas de compactação obtidas neste ensaio.

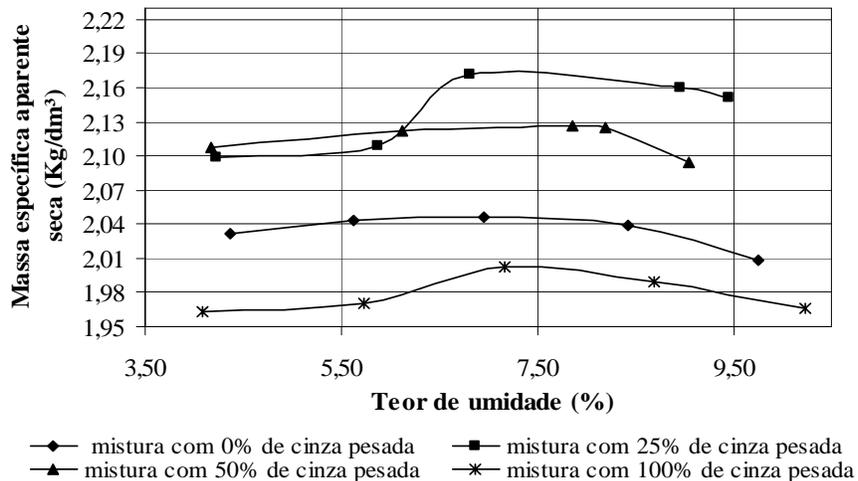


Figura 7 – Curva de compactação das misturas sem cimento

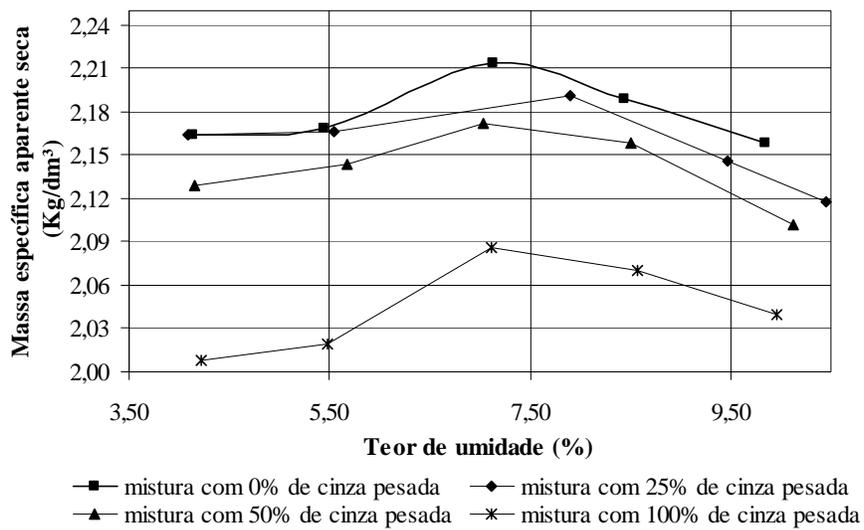


Figura 8 – Curva de compactação do CCR com 80 Kg/m<sup>3</sup> de cimento

Através da análise das curvas compactação é possível notar que a substituição da areia natural pela cinza pesada proporciona para a mistura sem cimento um aumento claro na massa específica aparente seca (MEAS) por mais que a cinza pesada possua uma massa específica 42% menor que a da areia natural. Para porcentagem de substituição de 50% de areia natural por cinza pesada é observada uma queda no MEAS da mistura, sendo isso já esperado, enquanto que esta diminuição é mais acentuada na mistura com substituição de 100% da areia natural por cinza pesada, com valores resultantes de MEAS abaixo da curva de compactação da mistura de referência.

Em relação à umidade ótima de compactação, a substituição da areia natural pela cinza pesada provoca uma redução na umidade ótima. A causa para tal comportamento pode ser associada ao fato de que a cinza pesada, por apresentar um granulometria mais uniforme e uma forma mais arredondada que a areia natural, atue como um "lubrificante", facilitando à aproximação de partículas e reduzindo o conteúdo de água necessário para alcançar a máxima densificação para a energia de compactação adotada.

Para a mistura com 80 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, chama a atenção que a adição de cimento causou uma queda na MEAS da mistura com 25% de cinza pesada em aproximadamente 1%. Porém, para as misturas onde a areia natural é substituída por teores maiores de cinza pesada (50% e 100%) é notado uma queda mais acentuada na MEAS e até o momento não se tem uma explicação clara para tal comportamento. Em relação à umidade ótima na mistura com adição de cimento é notado que, a adição da cinza pesada provoca a redução da umidade ótima de compactação em relação à mistura sem cimento. Isto acontece porque o cimento forma uma pasta que facilita a aproximação dos agregados, ocasionando a redução da quantidade de água para alcançar o MEAS<sub>máx</sub>.

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

O procedimento de moldagem dos CP's seguiu a mesma metodologia adotada para o ensaio de compactação e foram moldados três CP's para cada mistura. A idade para a realização deste ensaio foi aos 28 dias, e a cura foi feita em câmara úmida. Na figura 9 são mostrados os resultados obtidos para esta propriedade mecânica.

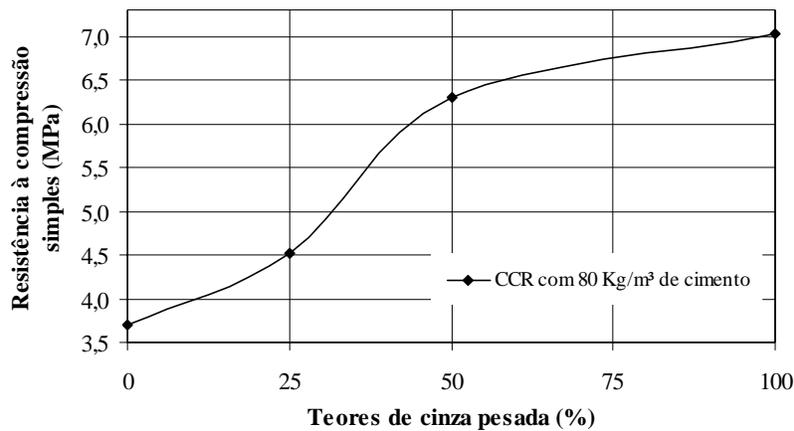


Figura 9 – Resistência à compressão simples para o CCR com 80 Kg/m<sup>3</sup> de cimento

Com relação aos resultados mostrados na figura 9, é notada que, com o aumento do teor de cinza pesada à mistura ficava mais compacta ocasionando o aumento crescente da resistência. Se comparada à mistura onde não foi usada cinza pesada com as misturas onde a cinza pesada substituiu de 25% a 100% o teor de areia natural, é possível concluir que houve um acréscimo de 21,94% e 89,61%, respectivamente. Portanto, com base nos resultados encontrados é possível afirmar que a cinza pesada é um ótimo material alternativo, e pode ser usado como agregado miúdo na dosagem do CCR devido contribuir positivamente no aumento da resistência e conseqüentemente na durabilidade do concreto.

### MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

Para a determinação desta propriedade também foram moldados três CP's para cada mistura e a determinação desta propriedade foi feita com idade de 28 dias. Na figura 10 são mostrados os valores obtidos para esta propriedade.

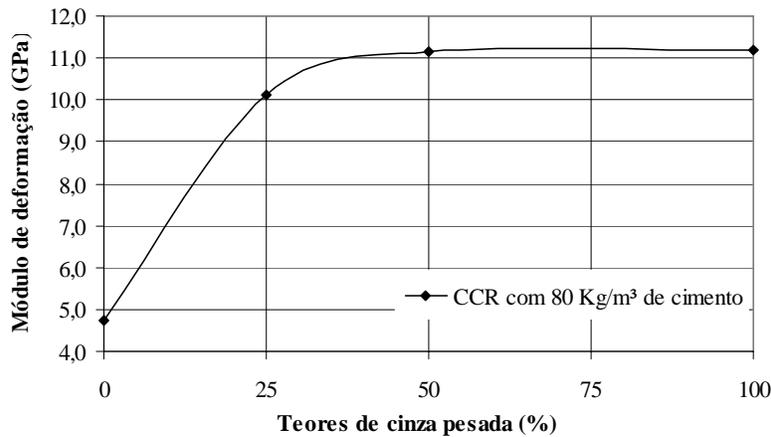


Figura 10 – Módulo de deformação do CCR aos 28 dias

Assim como ocorreu para a resistência à compressão simples, também para o módulo de deformação a cinza pesada agiu positivamente melhorando esta propriedade. Analisando os dados mostrados na figura 10, é possível notar que houve um aumento muito considerável no módulo de deformação das misturas com cinza pesada em relação à mistura de referência. Para a mistura com substituição de 25% da areia natural por cinza pesada ocorreu um aumento de 146,36% no módulo de deformação e, para a mistura onde se substituiu 100% da areia natural por cinza pesada, o aumento do módulo de deformação foi ainda maior, sendo que o valor encontrado foi de 199,04%. Portanto, é possível concluir que as misturas onde a cinza pesada substituiu a areia natural ocorreu um aumento na rigidez do CCR, fato este que torna mais duráveis as peças executadas com este concreto.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De uma maneira geral, a partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) A cinza pesada mostrou-se como um agregado miúdo muito competitivo quanto ao seu comportamento mecânico, o que a caracteriza como um material alternativo de boa qualidade;
- b) Por ser um material que forneceu valores expressivos de resistência à compressão e alto módulo de deformação, as misturas que contenham cinza pesada fazem com que essa tecnologia resulte misturas de elevada capacidade estrutural;
- c) Devido ao comportamento positivo que a cinza pesada apresentou, torna-se possível dar um destino nobre e agregar valor econômico a este resíduo que atualmente é destinado apenas para uso em aterros nos arredores da Termelétrica Jorge Lacerda, colaborando com a gestão do resíduo;

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a TRATECBEL ENERGIA pelo fornecimento da cinza pesada; Ao Srº Pedro da MACOTER Materiais de Construção (Tubarão – SC) pela doação da areia natural; Ao Srº Nilo da SAIBRITA Mineradora, pelo fornecimento do agregado graúdo; Aos técnicos do laboratório de materiais de construção civil da UFSC, ao Professor Marciano Macarini do laboratório de mecânica dos solos da UFSC e, aos bolsistas Juliano, Vinícios e Thiago pelo apoio na realização dos ensaios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] POZZOBON, C. E. “Aplicações Tecnológicas para a Cinza do Carvão Mineral Produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda”. Mestrado em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999. 122 p.
- [2] FARIAS, E. R. “A Utilização de Misturas Solo/Cinza Pesada na Pavimentação – Análise dos Aspectos de Comportamento Mecânico e Ambiental”. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, março de 2005. 97 pág.
- [3] ANDRADE, W. P. “Concretos – Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo: Ensaio e Propriedades / Autores: Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Departamento de Apoio e Controle Técnico”. Editora Pini. São Paulo – 1997. Pág. 66.4 – 73.4, 1.16 – 27.16.
- [4] PASKO, T. J. Jr, “Pavements: Past, Present and Future”, Concrete International, Vol 20. N. 5, May 1998, pp. 47 – 52.
- [5] FUJIMURA, F.; HENNIES, W. T.; SILVA, M. A. R.; SOARES, L. “O Uso de Finos de Pedreira de Rochas Gnáissicas e Graníticas em Substituição às Áreas Naturais”. Anais. 29º Reunião Anual de Pavimentação. v 1. Cuiabá – MT, 23 à 27 de setembro de 1995. p 146 – 151.
- [6] ANDRIOLO, F. R. “The Use of Roller Compacted Concrete”. Oficina de Textos. São Paulo, 1998.
- [7] CARVALHO, M. D. “O concreto Rolado como Camada Final de Base e Revestimento de Pavimentos Urbanos”. IN: 1º Simpósio de Obras de Concreto Compactado com Rolo. Anais. São Paulo, 1995. p. 563 – 580.
- [8] CARVALHO, M. D. et al. “Características e Aplicações do Concreto Compactado a Rolo em Pavimentação”. Reunião Anual – IBRACON. São Paulo. 1987.
- [9] PITTA, M. R. “Concreto Rolado: Uma Solução Econômica e Durável para a Pavimentação Urbana”. Seminário Técnico Sobre Pavimentação Urbana à Base de Cimento. São Paulo – 11 de setembro de 2002.
- [10] CARVALHO, E. “Procedimento de Execução de Serviço: Execução de sub-base em concreto rolado”. Grupo de Serviço: Pavimentação. M&C Engenharia Ltda. Código: PES PAV 035. Versão: V1. Data: 28/05/2002.
- [11] TRICHÊS, G. “Concreto Compactado a Rolo para Aplicação em Pavimentação – Estudo do Comportamento na Fadiga e Proposição de Metodologia de Dimensionamento”. Dissertação de Doutorado. ITA/RJ. Rio de Janeiro – 1993.
- [12] ANDRIOLO, F. R. “Contribuições para Conhecimento e Desenvolvimento do Concreto Rolado”. Editora Barber Greene. Brasil – 1989.
- [13] NEVILLE, A. M. “Propriedades do concreto”. São Paulo: Pini, 1997.
- [14] PITTA, M. R. & HURTADO DIAZ, P. S. “Estado-Del-Arte de Los Pavimentos de concreto Compactado com Rodillo”. Simpósio sobre Pavimentos de Concreto – Anais. Caracas, 1991. p. 605 – 633.