

## ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS ARGILOSOS COM CINZA PESADA EM OBRAS RODOVIÁRIAS

Danilo da Silva Leacina (1), Joe Arnaldo Villena Del Carpio (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) daniloleacina@hotmail.com, (2) joevillena@gmail.com

### RESUMO

O objetivo principal deste estudo é verificar a capacidade de estabilização dos solos argilosos, quando ao mesmo forem adicionados teores de cinza pesada, rejeito oriundo da queima do carvão mineral na Termelétrica Jorge Lacerda, Capivari de Baixo - SC. Os procedimentos de análise foram realizados com base nas normas da ABNT e do DNIT, sendo que as mesmas regulamentam os procedimentos para execução de obras rodoviárias no Brasil. Por tanto, foram dosadas cinco composições solo/cinza, nos quais o objetivo era analisar as características físicas e mecânicas dos mesmos. Foram realizados os ensaios de granulometria, densidade real dos grãos, compactação na energia do Proctor Normal e Índice Suporte Califórnia. O ensaio de compactação das cinco composições solo/cinza, mostraram que a adição da cinza pesada faz com que a massa específica aparente seca da amostra, no seu ponto de umidade ótima, diminua, devido a cinza pesada ter uma massa específica aparente seca baixa, na casa de  $0,980 \text{ g/cm}^3$ , este ensaio também mostrou que conforme se aumenta o teor cinza pesada o ponto de umidade ótima da mistura também aumenta. As amostras também foram submetidas ao ensaio de Índice Suporte Califórnia (CBR), os resultados apresentaram uma variação pouco significativa nos valores de CBR, as composições tiveram uma pequena queda, o CBR do solo argiloso era de 7,6, sendo que a composição que apresentou o menor valor de CBR 5,9, foi a amostra com 20% de cinza. Os resultados obtidos indicam que a adição de cinza pesada para a estabilização de um solo argiloso, apresentou variação pouco significativa nas características físicas do material, tendo em vista as dificuldades das empresas de dar um destino correto aos rejeitos oriundos de sua matéria prima, podemos afirmar que a cinza pesada seria um bom aditivo para compor corpo de aterro em obras rodoviária, sendo que a mesma não interfere nas características mecânicas do solo utilizado.

*Palavras-Chave: Solo Argiloso, Cinza Pesada, Carvão Mineral, Estabilização*

### INTRODUÇÃO

Devido a grande demanda de energia elétrica exigida nas ultimas décadas, o carvão se tornou uma importante fonte de energia, sendo que a sua queima é responsável por 44,8% da demanda mundial, segundo estudo realizado em 1992 na Espanha. (ABREU, 1992). O carvão é uma rocha sedimentar constituído de materiais orgânicos sólidos, fossilizados durante milhões de anos, sua qualidade é determinada pelo teor de carbono, quanto mais carbonífero melhor. (DARIANO,

2007). O uso do carvão, ou seja, o processo completo de queima para geração de energia elétrica, tem início com a sua extração nas jazidas, ou nas minas de carvão, onde o mesmo é beneficiado para eliminar parte das impurezas, após isto o carvão é transportado para as usinas onde é moído para melhorar seu desempenho durante a queima. (RISSATO e SOUZA, 1985).

No processo de queima do carvão para produção de energia, nos deparamos com dois tipos de rejeitos produzidos, as cinzas pesadas (*bottom ashes*) e as cinzas leves (*fly ashes*). As usinas termelétricas na sua grande maioria moem o carvão antes da queima de maneira que 70% desse material sejam passantes na peneira #200 (0,075 mm), assim o carvão é pulverizado no interior da caldeira fazendo com que o carbono seja queimado, e as suas impurezas se fundem permanecendo suspensas nos gases de combustão. Algumas destas impurezas fundidas se aglomeram e caem no fundo da Caldera, formando assim a cinza pesadas, que são recolhidas por esteiras rolantes, enquanto que as demais partículas que saem junto com o fluxo de gás, são as cinzas leves ou cinzas volantes. (LENZI, 2001).

Segundo a Central Geradora do Sul do Brasil S.A. (GERASUL), de toda a cinza produzida pela queima do carvão na região sul do Brasil, 40% são cinzas pesadas e 60% cinzas leves, de maneira a se destacar que apenas 30% das cinzas leves são reaproveitadas (POZZOBON, 1999). Segundo FARIAS (2005), o complexo termelétrico Jorge Lacerda, Capivari de Baixo - SC, possui um depósito com 1.500,00 toneladas de cinza pesada, sendo que a produção anual é de aproximadamente 300,00 toneladas.

Se por um lado o carvão faz gerar energia elétrica, por outro seu resíduo lança no meio ambiente várias substâncias tóxicas como hidrocarbonetos e substâncias carcinogênicas, levando em conta tal impacto ambiental, fica evidente a preocupação de dar-se um destino a esse resíduo, sem que o mesmo cause danos ao meio ambiente (ANDRADE, 1989). No Brasil as políticas de reaproveitamento dos resíduos do carvão resumem-se na utilização de cinza volante na produção de cimento pozolânico, sendo que esse reaproveitamento fica em torno de 25% a 30%, o restante é colocado no meio ambiente de forma indevida. (MALMANN, 1996).

A cinza colocada no ambiente de forma indevida tem sua composição química bastante heterogênea, pois suas características dependem do carbono que a originou e das transformações que ocorreram durante a queima, porém alguns

elementos são predominantes, como a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) 60,5%, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 25,8%, óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) com 5,79% e carbono (C) 1,2% (ABREU, 1993).

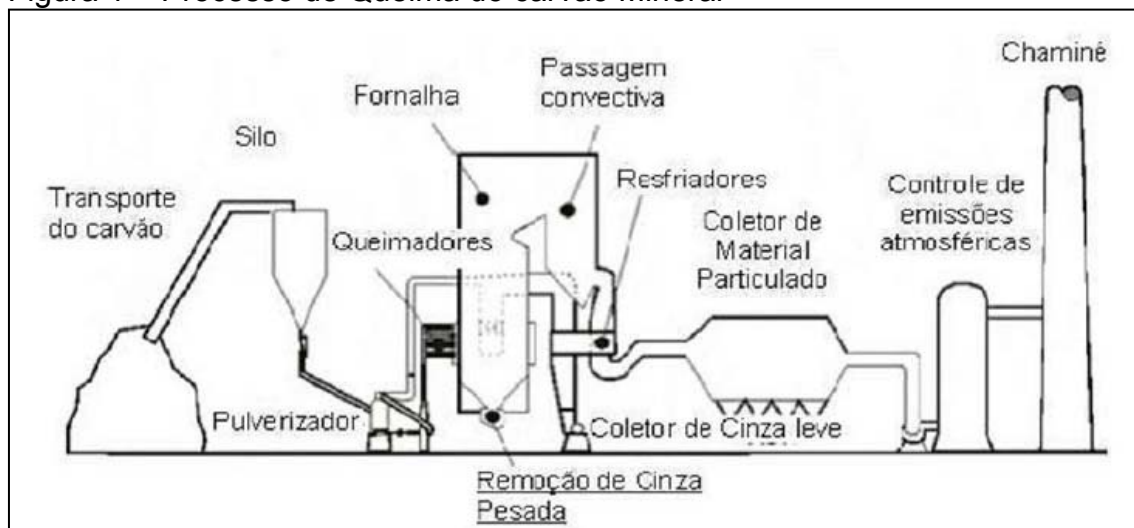
Com uma nova concepção de que as empresas devem ter um planejamento bem elaborado na destinação dos rejeitos resultantes do uso de sua matéria prima, tendo em vista ainda, que esse subproduto possa ser altamente danoso ao meio ambiente, pode-se afirmar que a cada dia que passa, o reaproveitamento desse material gerando lucros e preservando o meio ambiente, certamente se tornará inevitável nos próximos anos (POZZOBOM, 1997).

A procura por materiais para utilização na infraestrutura viária, cada vez mais se condiciona as jazidas de materiais primários (brita, solo, areia, etc.), porém a grande divergência entre a demanda e a oferta desses materiais, está viabilizando a avaliação do emprego de materiais resíduos (FARIAS, 2005). O uso de cinza pesada na construção civil apresentava avanços, pesquisas realizadas por POZZOBOM (1997), substituíam os agregados por cinza pesada, na produção de artefatos de cimento e apresentava resultados promissores. Estudos realizados mostravam que a cinza pesada possuía comportamento de materiais pozolânicos, capaz de desenvolver resistência mecânica com o tempo viabilizando tecnicamente seu emprego em obras de pavimentação. A localização geográfica do litoral brasileiro apresenta uma topografia diversificada, com um solo sedimentar e argilas muito moles, solos residuais com diferentes tipos de rochas, mas com a presença marcante de areias quartzosas (HIGASHI, 2006). Na engenharia de obras rodoviárias, a estabilização dos solos argilosos que apresentam um baixo índice de suporte, pode representar um grande desafio a ser vencido, pois as soluções existentes hoje geram um alto custo no valor final da obra. Segundo Medina e Mota (2004), a estabilização do solo é um tratamento em que o objetivo principal é melhorar as características de resistência à compressibilidade, resistência ao cisalhamento e o aumento ou diminuição da permeabilidade. Os principais tipos de estabilização do solo são: a estabilização mecânica e a estabilização físico-química. BAPTISTA (1976).

A estabilização mecânica se dá de maneira que não seja utilizado qualquer tipo de material estranho no solo, seu processo é fundamentado em aumentar a resistência mecânica do solo, densidade e durabilidade, apenas com a aplicação de energia imposta, reduzindo o volume de vazios *in situ* e inibindo a percolação da

agua. (SANTOS, 2012). Já a estabilização química se dá com a adição de qualquer tipo de aditivo que melhore uma ou mais propriedades do solo, podendo ser betumes, cimento Portland, pozolanas, cal e outros. Dentre os aditivos mais utilizados está o cimento Portland, sua ação no solo se dá da mesma maneira que no concreto, quando endurecido, aumenta a resistência das partículas do solo, envolvendo as mesmas, formando uma matriz contínua. (COOK e SPENCE, 1983, apud PINTO, 2008). O processo de queima do carvão mineral é mostrado na Fig. 1.

Figura 1 – Processo de Queima do carvão Mineral



Fonte: Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (2016).

## 1. OBJETIVO GERAL

O estudo a seguir tem como objetivo avaliar o uso de cinza pesada na estabilização de um solo argiloso da região de Capivari de Baixo.

## 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar as características físicas (Granulometria, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Peso Específico real) do solo argiloso e da cinza pesada.
- b) Dosar 5 (cinco) composições de solo/cinza nas seguintes proporções: 95/5; 90/10; 85/15; 80/20; 75/25.
- c) Determinar a umidade ótima e a massa específica aparente seca do solo argiloso sem adição de cinza e das 5 composições de solo/cinza estudadas mediante o ensaio de compactação.

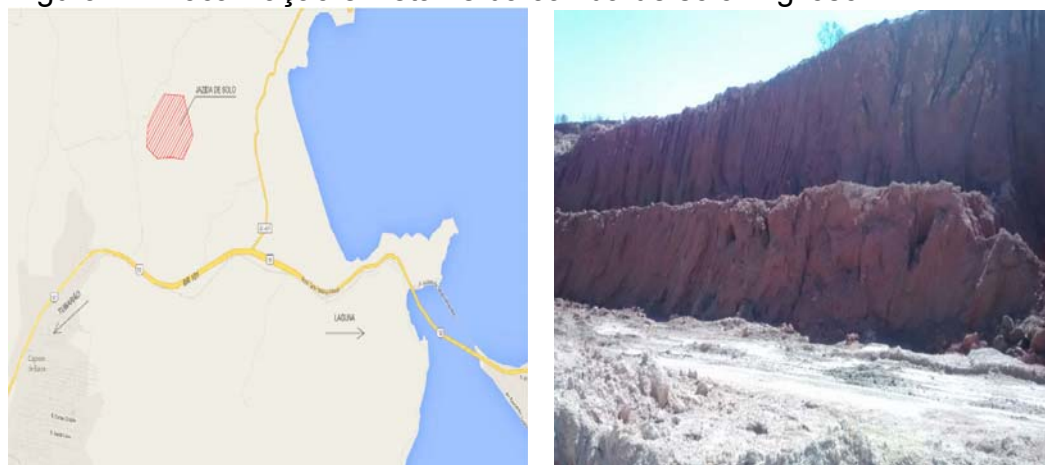
- d) Determinar o Índice de Suporte Califórnia das 5 composições de solo/cinza.

### 3. MATERIAIS

#### 3.1 Solo Argiloso

Para o desenvolvimento da pesquisa foi coletada uma amostra de 100 kg de solo argiloso em uma jazida de solo localizada no município de Laguna, coordenadas: N 6.855.447,55; E 703.414,41. O local da jazida é mostrado na Fig. 2.

Figura 2 – Localização e Detalhe da Jazida de solo Argiloso.

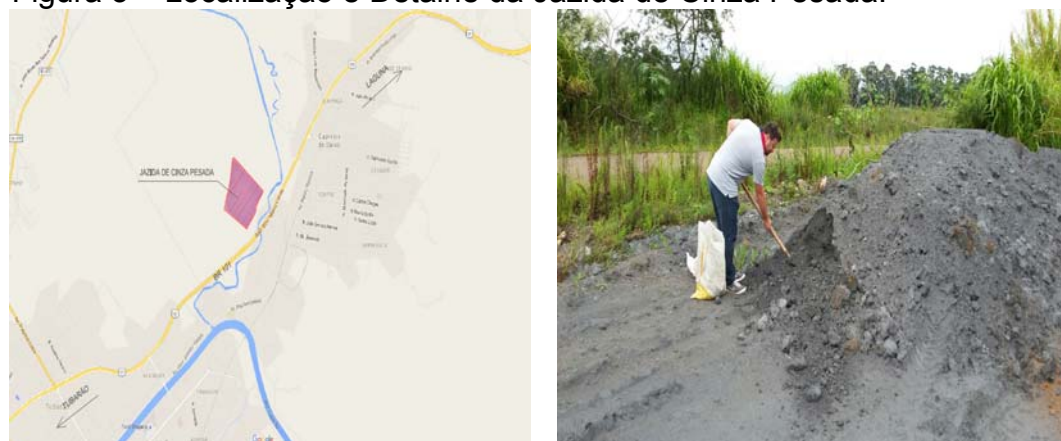


Fonte: Autor (2016).

#### 3.2 Cinza Pesada

Já a amostra de cinza pesada, foram coletados 40 kg na Usina Termelétrica Jorge Lacerda, localizada no município de Capivari de Baixo, coordenadas: N 6.852.993,32; E 699.223,73. O local da extração é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Localização e Detalhe da Jazida de Cinza Pesada.



Fonte: Autor (2016).



## 4. MÉTODOS

Durante esta pesquisa foram realizados os seguintes ensaios:

### 4.1 Caracterização Física do Solo Argiloso e da Cinza Pesada

- *Granulometria por peneiramento, usando o método de ensaio do DNER – ME 080/94; (Figuras 4 e 5)*

Figura 4 – Peneiras



Fonte: Autor (2016).

Figura 5 – Ensaio



Fonte: Autor (2016).

- *Determinação da densidade real de acordo com o método de ensaio do DNER – ME 093/94; (Figura 6)*

Figura 6 – Ensaio de Densidade Real



Fonte: Autor (2016).

- *Determinação do Limite de Liquidez (LL) da mistura Solo/Cinza, de acordo com a NBR 6459; (Figura 7)*

Figura 7 – Ensaio LL



Fonte: Autor (2016).

- *Determinação do Limite de Plasticidade (LP) da mistura Solo/Cinza, de acordo com a NBR 7180; (Figura 8)*

Figura 8 – Ensaio de LP



Fonte: Autor (2016).

## 4.2 Dosagem das Composições Solo/Cinza

Para o estudo foram dosadas cinco misturas solo/cinza além da mistura sem adição de cinza, a qual serviu de referência para avaliar a efetividade do uso da cinza na estabilização do solo. A composição das misturas solo/cinza são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Misturas solo/cinza a serem estudadas.

Composição das misturas solo/cinza					
Mistura	AM 01	AM 02	AM 03	AM 04	AM 05
Solo/Cinza %	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
Solo/Cinza (kg)	4,75/0,25	4,50/0,5	4,25/0,75	4,0/1,0	3,75/1,25
Peso Amostra (kg)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Fonte: Autor (2016).

As amostras de solo e cinza pesada são apresentadas nas figuras 9 e 10.

Figura 9 – Solo Argiloso



Fonte: Autor (2016).

Figura 10 – Cinza Pesada



Fonte: Autor (2016).

#### 4.3 Determinação da W<sub>ót</sub> e da MEAS máx

- *Será determinada a Umidade ótima e a Massa Específica Aparente Seca do solo argiloso sem a adição de cinza, mediante o ensaio de compactação elaborado de acordo com a NBR 7182/84, na energia do Proctor Normal; (Figura 11)*

Figura 11 – Ensaio de Compactação



Fonte: Autor (2016).

#### 4.4 Caracterização Mecânica

- *Será determinado o Índice de Suport Califórnia com medida de expansão das 5 composições Solo/Cinza e do solo argiloso sem adição de cinza pesada, conforme descrito na NBR 9895/86; (Figuras 12 e 13)*



Figura 12 – Amostras lmersas na Agua



Fonte: Autor (2016).

Figura 13 – Ensaio de CBR



Fonte: Autor (2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados os resultados obtidos e as análises dos ensaios descritos anteriormente para a amostra de solo argiloso, para a amostra de cinza pesada e para as cinco composições de solo/cinza. Como o objetivo do estudo seria avaliar o comportamento da cinza de carvão mineral quanto ao seu desempenho, quando empregada como um aditivo para estabilização de um solo argiloso, a amostra de cinza foi submetida a ensaios de caracterização físicas e mecânicas com o objetivo de compreender melhor o material de estudo.

### 5.1 Granulometria da Cinza

Na tabela 2 e na figura 14 a seguir, está os resultados da composição granulométrica da cinza pesada utilizada para a composição das misturas solo/cinza, processo realizado pelo método do *Peneiramento DNER – ME 080/94*. Analisando o percentual retido na peneira #200, percebe-se que a cinza utilizada no estudo é um material de granulometria fina.

Tabela 2 – Composição Granulométrica da Cinza.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	
DIÂMETRO DOS GRÃOS	PORCENTAGEM RETIDA
> 12,7 mm	0,00
4,8 mm	0,70
2,0 mm	1,90
0,42 mm	6,10
0,075 mm	43,10

Fonte: Autor (2016).

## 5.2 Granulometria do Solo Argiloso

A seguir na tabela 3 e na figura 15, observamos a composição granulométrica do solo argiloso que foi utilizado na composição das misturas solo/cinza.

Tabela 3 – Composição Granulométrica do Solo.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	
DIÂMETRO DOS GRÃOS	PORCENTAGEM PASSANTE
9,5 mm	100
4,8 mm	99,94
2,0 mm	99,74
0,42 mm	98,7
0,075 mm	33,55

Fonte: Autor (2016).

## 5.3 Densidade Real

A tabela 4 nos traz os resultados obtidos através dos ensaios de densidade real da amostra de cinza pesada e do solo argiloso.

Tabela 4 – Densidade Real.

AMOSTRA	DENSIDADE g/cm <sup>3</sup>
SOLO	2,660
CINZA PESADA	2,058

Fonte: Autor (2016).

## 5.4 Limites de Atterberg

A tabela 5 nos traz os resultados dos Limites de Atterberg, ou seja, os Limites de Liquidez e Plasticidade. Os Limites de Atterberg foram determinados para a amostra de solo e para as 5 composições solo/cinza. Na amostra de cinza pesada, não foi possível determinar os limites de liquidez e de plasticidade, devido à porcentagem considerável de grãos em sua composição granulométrica, sendo assim esse material foi considerado não plástico.

Tabela 5 – Limites de Atterberg.

AMOSTRA	LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE
SOLO	38,12	26,85
S95/C5	57,78	41,38
S90/C10	59,72	43,39
S85/C15	55,60	39,49
S80/C20	52,14	38,21
S75/C25	53,22	37,15

Fonte: Autor (2016).

### 5.5 Massa específica Aparente Seca

Os resultados que determinaram a MEAS (Massa Específica Aparente Seca) do solo argiloso, cinza pesada e das cinco composições, estão apresentados na tabela 6. Os resultados a seguir mostram a queda progressiva da massa específica das misturas, conforme vai aumentando o teor de cinza, a massa específica da mistura vai caindo, sendo que o seu ponto máximo é na proporção 75/25, 75% de solo e 25% de cinza pesada, isto se deve ao fato de a cinza pesada ser um material de massa específica baixa, em torno de 0,980 g/cm<sup>3</sup>. Um material com tais características pode ser utilizado na necessidade de uma camada solo mais leve, que não exerça peso elevado sobre a camada subsequente, levando em conta que o CBR e o índice de expansão estejam dentro da norma.

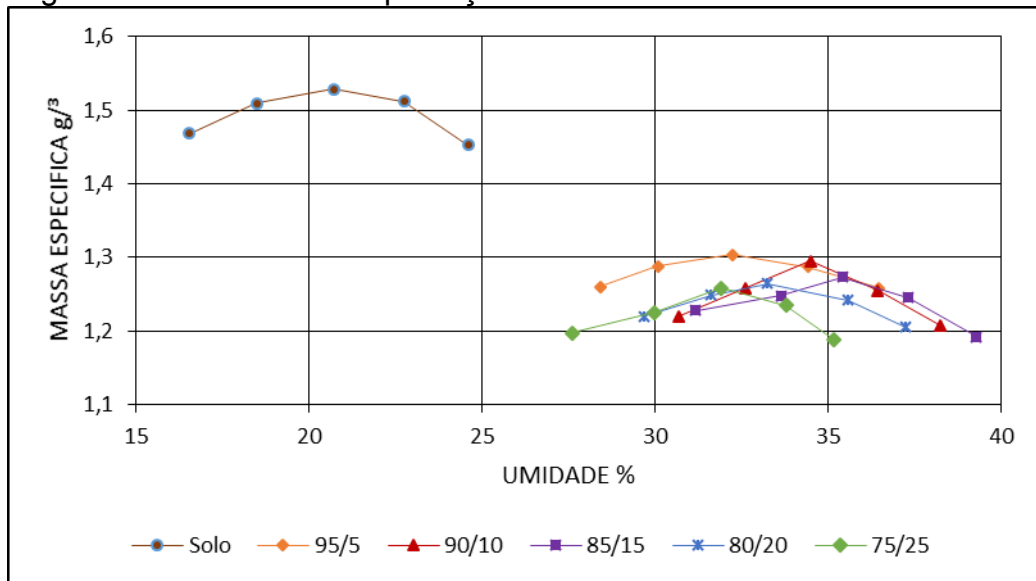
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de MEAS<sub>max</sub>.

Amostra	Teor de Cinza %	MEAS <sub>máx</sub> g/cm <sup>3</sup>
CINZA PESADA	-	0,980
SOLO ARGILOSO	-	1,529
S95/C5	5	1,304
S90/C10	10	1,295
S85/C15	15	1,273
S80/C20	20	1,264
S75/C25	25	1,258

Fonte: Autor (2016).

A seguir a figura 14 nos mostram graficamente os resultados dos ensaios de compactação, na energia do Proctor Normal, do solo argiloso e das cinco composições solo/cinza. As curvas de compactação mostram a evolução da Massa Específica Aparente Seca de cada amostra.

Figura 14 – Curva de compactação Umidade X Densidade.



Fonte: Autor (2016).

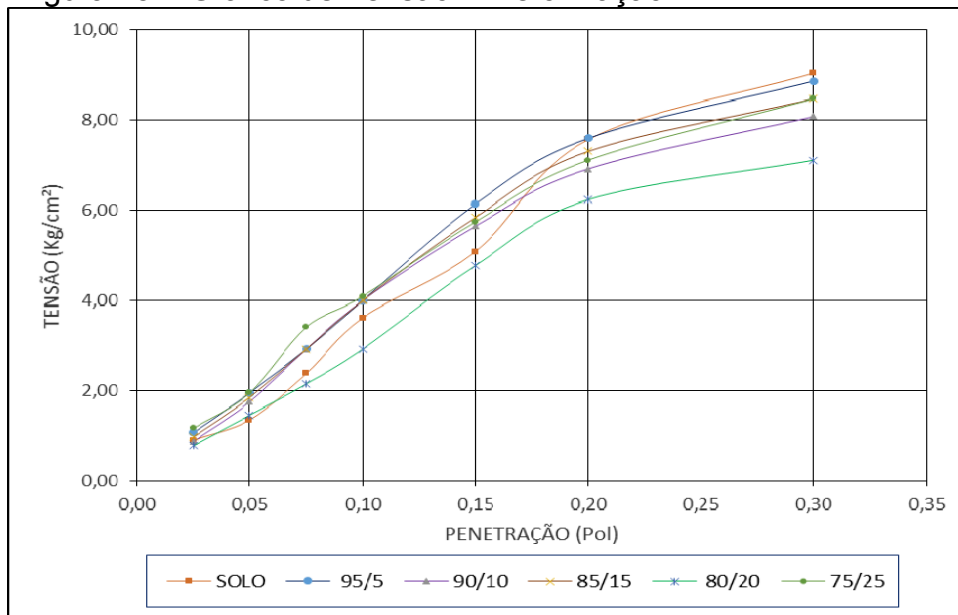
A figura 14 mostra as curvas de umidade X densidade do solo argiloso e das composições solo/cinza, obtidas através de ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade do Extremo Sul Catarinense, podemos verificar que o ensaio da argila parâmetro nos traz um material com massa específica acima de 1,50 g/cm<sup>3</sup>, conforme o teor de cinza pesada aumenta os pontos ótimos das curvas de compactação das misturas, aumentam a sua umidade ótima e diminuem a massa específica aparente seca. Como comentado anteriormente, insto se dá pelo fato de que o material de estudo, cinza pesada, tem um teor de umidade ótimo alto e uma massa específica aparente seca baixa.

## 5.6 CBR

A figura 15 nos mostra as curvas de tensão X deformação do solo e das 5 composições solo/cinza estudadas, analisando as leituras de deformação percebe-se que não há necessidade de fazer a correção das curvas de CBR, pois as leituras mostraram-se constante.



Figura 15 – Gráfico de Tensão X Deformação.



Fonte: Autor (2016).

As tabelas 7 e 8 mostram a variação do Índice de Suporte Califórnia e a variação de expansão das amostras estudadas. As amostras de solo/cinza foram deixadas imersas em água durante 4 dias, após a saturação foram realizadas as leituras de deformação e expansão conforme a norma NBR 9895/86. Foram verificadas as medidas de expansão e CBR nos pontos *ótimos* de cada composição solo/cinza. A análise de variação dos valores do Índice de Suport Califórnia das amostras foram verificadas nos pontos de umidade ótima de cada mistura.

Tabela 7 – Variação do CBR na Umidade Ótima.

Amostra	CBR	Wót
SOLO ARGILOSO	7,6	20,7
S95/C5	7,2	32,2
S90/C10	6,6	34,5
S85/C15	6,9	35,4
S80/C20	5,9	33,4
S75/C25	6,7	32,1

Fonte: Autor (2016).

Tabela 8 – Variação da Expansão na Umidade Ótima.

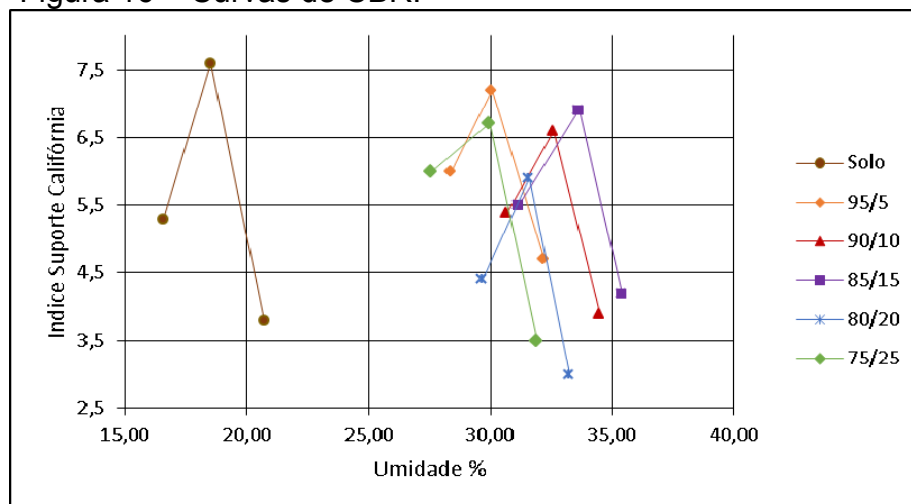
Amostra	Expansão	Wót
SOLO ARGILOSO	0,43	20,7
S95/C5	1,28	32,2
S90/C10	1,46	34,5
S85/C15	1,32	35,4
S80/C20	1,30	33,4
S75/C25	1,50	32,1

Fonte: Autor (2016).

A seguir os resultados dos ensaios nos mostram como variam o CBR e a expansão da amostra de solo e das 5 composições solo/cinza analisadas. A curva de CBR para cada amostra é composta pelo ponto ótimo da mistura, um ponto com 2% a menos de umidade e por outro ponto com 2% a mais de umidade. Os resultados obtidos mostram que a cinza proporciona uma oscilação nos valores do CBR, a adição da cinza pesada não propiciou um aumento significativo nesses valores, sendo que na composição 95/5 temos o maior valor dentre as misturas, e na composição 80/20 o menor. Quanto ao índice de expansão, os resultados nos apresentam um aumento não significativo da expansão das misturas sendo que a amostra que teve maior índice é composição 75/25.

As figuras 16 e 17 nos apresentam as curvas de CBR do solo argiloso e de cada amostra solo/cinza, mostrando também os valores do índice de expansão para o ponto ótimo de cada mistura.

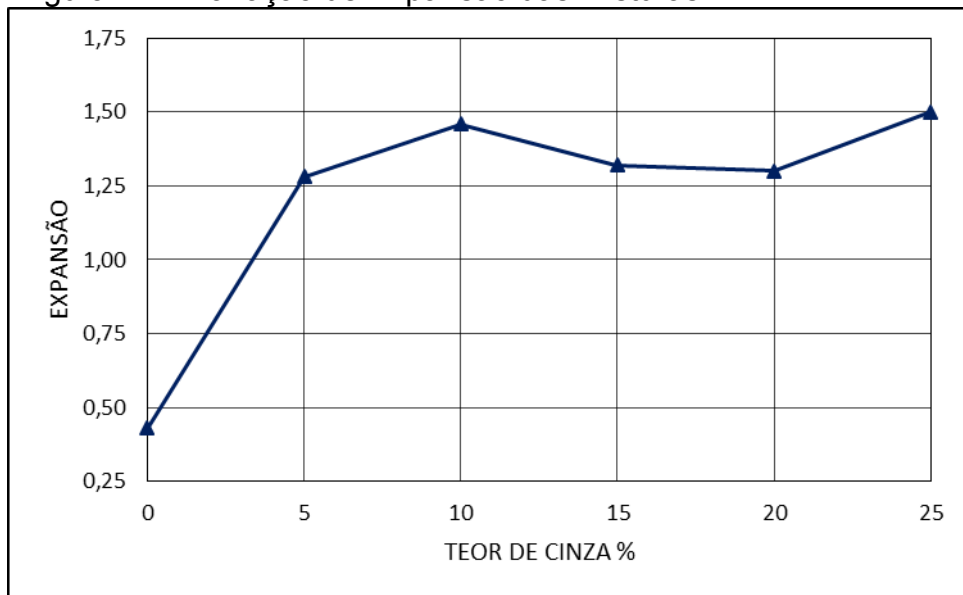
Figura 16 – Curvas de CBR.



Fonte: Autor (2016)

Nas misturas solo/cinza estudadas nota-se uma oscilação nos valores de CBR, os ensaios apresentaram uma pequena queda nos valores do Índice Suporte Califórnia, tal queda mostrou-se pouco significativa, tendo em vista que o CBR do Solo Argiloso é de 7,6% e a amostra de solo/cinza que apresentou queda mais significativa ficou na faixa de 5,9%, composição com adição de 20% de cinza pesada.

Figura 17 – Variação de Expansão das Misturas.

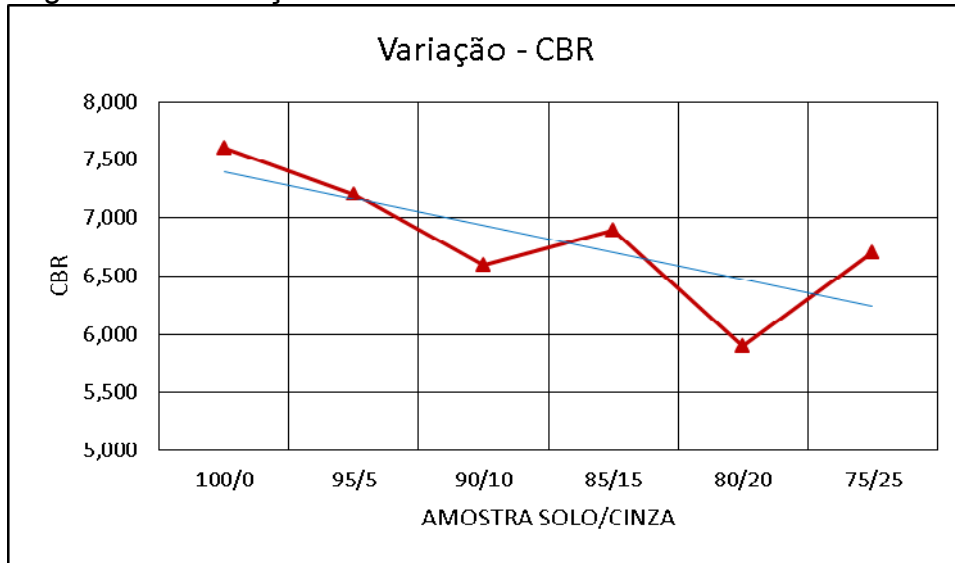


Fonte: Autor (2016).

Nos resultados da expansão verificou-se que houve um pequeno aumento da expansão nas misturas, aumento esse que se mostrou pouco significativo, sendo que na mistura com maior teor de cinza 75/25 o índice de expansão foi no valor de 1,5. A análise dos resultados mostrou que no presente estudo, a adição de cinza pesada no solo argiloso pouco mudou as características mecânicas do solo, tendo em vista que a norma do DNER 282/97 diz que: “Para efeito de execução do corpo do aterro, apresentar capacidade de suporte adequada ( $ISC \geq 2\%$ ) e expansão menor ou igual a 4%”. e “Para efeito de execução da camada final dos aterros, apresentar as melhores qualidades disponíveis, sendo devidamente selecionados e especificados no Projeto de Engenharia, atendidos os preceitos de ordem técnico – econômica. Deverá, outrossim, apresentar expansão menor ou igual a 2%, pode-se observar que o material de estudo tem características que atendem a norma para ser utilizado nas camadas que compõe o corpo de aterro de uma rodovia. Sabendo que a cinza pesada é um rejeito do carvão mineral que na maioria das vezes não é dado um destino adequado, o presente estudo mostrou a possibilidade de se empregar esse material como um aditivo na execução de aterros para construção de rodovias.

Na figura 18 a seguir, verificamos a variação do índice Suporte Califórnia entre o solo argiloso e as cinco composições solo/cinza. Nesse gráfico foi adicionada uma linha de tendência para melhor compreensão da evolução do CBR conforme o aumento do teor de cinza pesada.

Figura 18 – Evolução dos Valores de CBR.



Fonte: Autor (2016)

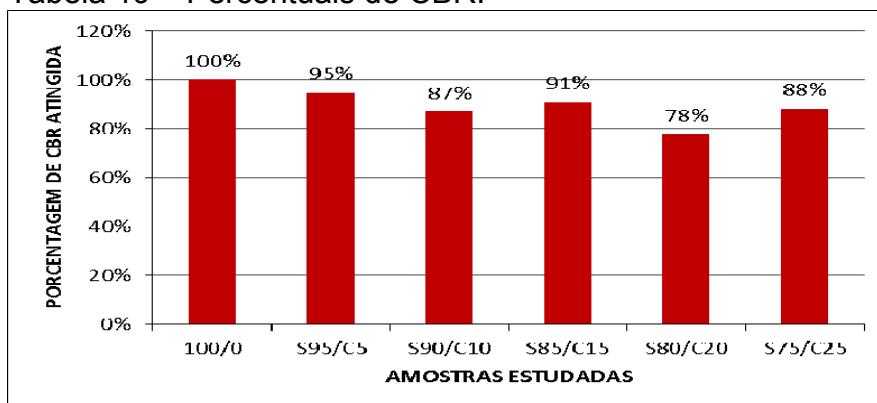
Tendo em vista que o solo argiloso, que serviu como parâmetro para as misturas solo/cinza, apresentou um Índice Suporte Califórnia com o valor de 7,60, verifica-se na tabela 9 e na figura 19 a porcentagem que cada composição solo/cinza atingiu, tendo como referência o CBR da amostra com 100% de solo.

Tabela 9 – Percentual de CBR atingido em relação ao Solo Parâmetro

Amostra	CBR	% Atingida
SOLO ARGILOSO	7,60	100%
S95/C5	7,20	95%
S90/C10	6,60	87%
S85/C15	6,90	91%
S80/C20	5,90	78%
S75/C25	6,70	88%

Fonte: Autor (2016).

Tabela 19 – Percentuais de CBR.



Fonte: Autor (2016)



Como citado anteriormente, a cinza pesada apresenta em sua composição química 60,5% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ). No momento em que adicionarmos Hidróxido de Cálcio ou mais precisamente Cal e um pouco de água, se tem o C-S-H silicato de cálcio hidratado principal fase proveniente da hidratação do cimento Portland, tem grande influência na maioria das propriedades físicas e mecânicas dos materiais cimentícios. Estudos já realizados comprovaram a melhoria no comportamento mecânico de mistura solo/cinza quando adicionado um composto cimentante como a cal. Os resultados do presente estudo viabilizam novas pesquisas de composições solo/cinza adicionando algum teor de cal para fins de melhoramento das propriedades mecânicas da mistura.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com a realização do presente estudo foi possível analisar algumas variáveis que interferem no desempenho do solo argiloso quando ao mesmo é adicionada alguma porcentagem de cinza pesada de termelétricas.

A análise do ensaio de compactação, nos mostra que conforme aumenta o teor de cinza pesada na composição solo/cinza, a umidade do ponto ótimo da amostra sobe, sendo que a Massa Específica Aparente Seca cai, tornando a mistura um solo de baixa densidade.

Os ensaios das Nas misturas solo/cinza estudadas apresentaram uma pequena queda nos valores do Índice Suporte Califórnia, tal queda mostrou-se pouco significativa.

Nos ensaios de expansão se observou um aumento pouco significativo, sendo que na mistura com maior teor de cinza 75/25 o índice de expansão foi no valor de 1,5.

A análise dos resultados mostrou que no presente estudo, a adição de cinza pesada no solo argiloso pouco mudou as características mecânicas do solo, tendo em vista que a norma do DNER 282/97 diz que: “*Para efeito de execução do corpo*

*do aterro, apresentar capacidade de suporte adequada ( $\text{ISC} \geq 2\%$ ) e expansão menor ou igual a 2%”,* pode-se observar que o material de estudo tem características que atendem a norma para ser utilizado nas camadas que compõe o corpo de aterro de uma rodovia.

### **6.1 Sugestões**

Verificar o comportamento do solo argiloso do presente estudo, com a adição de porcentagens de cal.

## 7. REFERÊNCIAS

- RUFINO, Mariana de Souza. **Análise histórica progressiva e caracterização geotécnica de aterro sobre solo mole executado com cinza pesada, localizado no complexo termelétrico Jorge Lacerda, Tubarão-SC**. Florianópolis: UFSC, 2015. 254 p.
- GENOVESI, Julia Figueiredo, **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS DE SOLOS COM CINZA VOLANTE DE CARVÃO MINERAL E CAL**.  
<<https://www.google.com.br/#q=GENOVESI%2C+Julia+Figueiredo%2C+Análise+do+comportamento+de+misturas+de+solos+com+cinza+volante+de+carv%C3%A3o+mineral+e+cal>>  
Acesso em: 14 de setembro de 2015.
- FARIAS, Edney Rodrigues, **A UTILIZAÇÃO DE MISTURAS SOLO/CINZA PESADA NA PAVIMENTAÇÃO – ANÁLISE DE ASPECTOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO E AMBIENTAL**. Florianópolis: UFSC, 2005. 121 p.
- MALLMANN, José Eduardo Corrêa, **ESTABILIZAÇÃO POZOLÂNICA DE CINZAS VOLANTE E PESADA COM CAL DOLOMÍTICA HIDRATADA E AREIA, CURADAS PELOS PROCESSOS DE AUTOCLAVAGEM E CÂMARA À TEMPERATURA CONSTANTE**, Porto Alegre: UFRGS, 1996. 164 p.
- KREUZ, Anderson Luiz, **UTILIZAÇÃO DE CINZAS PESADAS DE TERMELÉTRICAS NA SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTOS E AREIA NA CONFECÇÃO DE CONCRETOS**, Florianópolis: UFSC, 2002. 135 p.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes** “Pavimentos flexíveis - Solos - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio”,  
< <http://www1.dnit.gov.br/normas/Solos%20-%20Determinacao%20do%20Modulo%20de%20Resiliencia%20-%20VERSAO%20DEFIN.pdf>>  
Acesso em: 16 de setembro de 2015.
- \_\_\_\_\_**NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Junho, 2007.  
Acesso em: 20 de setembro de 2015.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER ME – 80/94** “Solos – Análise Granulométrica Por Peneiramento – Método de ensaio”,
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER ME – 93/94** “Solos – Determinação da Densidade Real – Método de ensaio”,
- \_\_\_\_\_**NBR 6459**: Solos – Determinação do Limite de Liquidez - Outubro, 1984.  
Acesso em: 21 de Março de 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 7182:** Solos – Ensaio de compactação - Outubro, 1986.  
Acesso em: 18 de Março de 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 9895:** Solos – Índice de Suporte Califórniao - Junho, 1987.  
Acesso em: 18 de Abril de 2016.