

MELHORAMENTO DE UM SOLO SILTOSO COM ADIÇÃO DE CINZA LEVE ORIUNDA DE TERMOELÉTRICA

Manuela Ramiro de Souza(1), Pedro Arns(2), Ingrid Milena Reyes Martinez
Belchior(3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)manuramiro1@gmail.com, (2)par@unesc.net, (3)ingridbelchior@unesc.net

RESUMO

O melhoramento de solos através de adição de materiais pozolânicos tem sido amplamente estudado devido ao crescimento da demanda de materiais aptos para construções rodoviárias. As cinzas leves produzidas na combustão de carvão para geração de eletricidade têm se mostrado aptas para a construção de aterros, pois incrementam a capacidade de carga do solo. Neste trabalho foi analisado o melhoramento das propriedades mecânicas de um solo proveniente de uma região de mineração de carvão, com adições de cinzas leves geradas em termoelétrica. Foram adicionadas porcentagens de 5%, 10% e 15 % de cinza leve ao solo, afim de realizar ensaios de caracterização física e ensaios mecânicos de compactação na energia Proctor intermediária e Índice de Suporte Califórnia (CBR). Os resultados mostraram que a adição de cinza leve modificou as características de plasticidade do solo e, conseqüentemente a classificação do tipo de solo também foi alterada, transformando o solo siltoso, em um solo com características de areia siltosa. Nos ensaios de compactação, observou-se uma leve diminuição na densidade máxima seca após a adição de cinza leve, acompanhada de um leve incremento na umidade ótima de compactação. Enquanto ao valor de CBR, as amostras mostraram melhoras significativas com a adição de cinza leve. O CBR do solo natural incrementou de 15,9% para 40,0% com uma adição de 5% de cinza leve, enquanto que para uma adição de 15% de cinza leve no solo, o valor do CBR aumentou para 47%. Embora o solo natural não fosse muito expansivo (expansão de 0,58%), as adições de cinza leve diminuíram a expansão, atingindo um valor mínimo de 0,34% para a mistura com adição de 5% de cinza leve. Assim, é possível concluir que a adição de cinza leve é apta como técnica de melhoramento de solos destinados a construções rodoviárias.

Palavras-Chave: Solo. Estabilização. Cinza Leve. Pavimentação.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Wlastermiller (1997, p. 15), para que o empreendimento de engenharia seja completamente viável é necessário que seja tecnicamente exequível, economicamente recomendável e financeiramente realizável.

Para Bernucci (2006, p. 338), as estruturas de pavimentos são sistemas de camadas assentes sobre uma fundação chamada subleito.

Sendo assim, a preocupação em executar-se obras de pavimentação com custo reduzido e desempenho satisfatório, faz com que se busque técnicas que satisfaçam estes dois quesitos.

“Para se dimensionar adequadamente uma estrutura de pavimento, deve-se conhecer bem as propriedades dos materiais que a compõem, sua resistência á ruptura, permeabilidade e deformabilidade[...]” (BERNUCCI, 2006, p. 339)

A *priori*, a concepção do projeto de um pavimento deve partir do estudo geotécnico, para assim conhecer e analisar o comportamento e características do solo que serviria como fundação ou mesmo como camada de um pavimento.

Ainda que o revestimento seja a camada mais solicitada no pavimento, busca-se melhorar as características de resistência das camadas subseqüentes, a fim de que a estrutura construída do pavimento exerça sua função resistindo ás solicitações durante sua vida de projeto.

Quando se pretende utilizar o solo como material componente, por exemplo, de uma camada de pavimento, o solo guinda a condição de material de construção e, assim, deve merecer estudos prévios de qualidade e controle rigorosos durante a aplicação. Os estudos para a localização de jazidas e os complementares de estabilização, quer utilizando aglutinantes, quer pela simples e conveniente distribuição dos diâmetros dos grãos, representam hoje, em nosso meio, uma das mais importantes atividades dos engenheiros de pesquisas, dadas as inegáveis vantagens econômicas do uso crescente de materiais locais. (SENÇO, 1997, p. 44)

Segundo Baptista (1976, p. 85), do ponto de vista rodoviário ou aeroportuário, denomina-se estabilização dos solos aos métodos de construção nos quais os solos são tratados (com ou sem aditivos), de modo que se tenham subleitos, sub-bases ou bases e ocasionalmente revestimentos, capazes de suportar as cargas de tráfego normalmente aplicadas sobre o pavimento.

Ainda de acordo com Baptista (1980), os materiais de sub-base devem ser solos com índice de grupo igual a 0, Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior ou igual a 20%, de maneira que resista ás cargas transmitidas pela base. Do mesmo modo, os materiais de base devem ser resistentes aos esforços transmitidos pelo revestimento, cujo valor do CBR deve ser maior que 60%, podendo ser admitido até 40% em condições onde não há existência de outro material. Logo quando um solo não atinge estas propriedades mecânicas, este pode ser estabilizado quimicamente com a finalidade de atender estas exigências, evitando assim o descarte do mesmo. Embora exista no mercado aditivos químicos utilizados na estabilização de solos, há ainda resíduos originados em indústrias que poderão desempenhar o mesmo papel, os quais, em sua maioria, são descartados de maneira inadequada no meio ambiente. Temos, como um desses resíduos, a cinza leve, resultante da queima do carvão em usinas termoelétricas.

“Tem sido verificado que, na construção de aterros, as cinzas volantes endurecem com o tempo, resultando em materiais com boa capacidade de carga.” (SOUZA, 1976, p. 50)

O uso da cinza volante, vem ganhando espaço por se tratar de um material pozolânico que tem características aglutinantes.

Desta forma, foram analisadas proporções mínimas necessárias deste material, a serem adicionadas como aditivo ao solo, com o objetivo de melhorar suas propriedades físicas e mecânicas viabilizando o uso do mesmo como estrutura do pavimento, desde que deve atender as especificações exigidas pelo Departamento Nacional de Infra Estrutura e Transporte (DNIT).

A partir de amostras de solo extraídas na cidade de Siderópolis, o presente estudo tem como objetivo principal estabilizar o mesmo com a adição de cinzas leves como aditivo, obtido no Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, e analisar a viabilidade de utilizá-lo, principalmente, como material de base e/ou sub-base, ou mesmo como reforço do subleito.

2. MATERIAIS

2.1 SOLO

O material foi coletado nas coordenadas (latitude -28.5904630, longitude -49.4345400), na cidade de Siderópolis/SC, cujo local sofreu mineração de carvão a céu aberto há mais de 50 anos, logo apresentou-se como um material estéril. A amostragem de solo foi extraída a profundidade de 0,60 m e encaminhada Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), onde foi destorroado e posteriormente seco em estufa.

2.2 CINZA

O material utilizado como aditivo foi uma cinza leve resultante da queima do carvão utilizado para geração de energia, coletada dos precipitadores, no Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, a qual tem características aglutinantes e cimentantes.

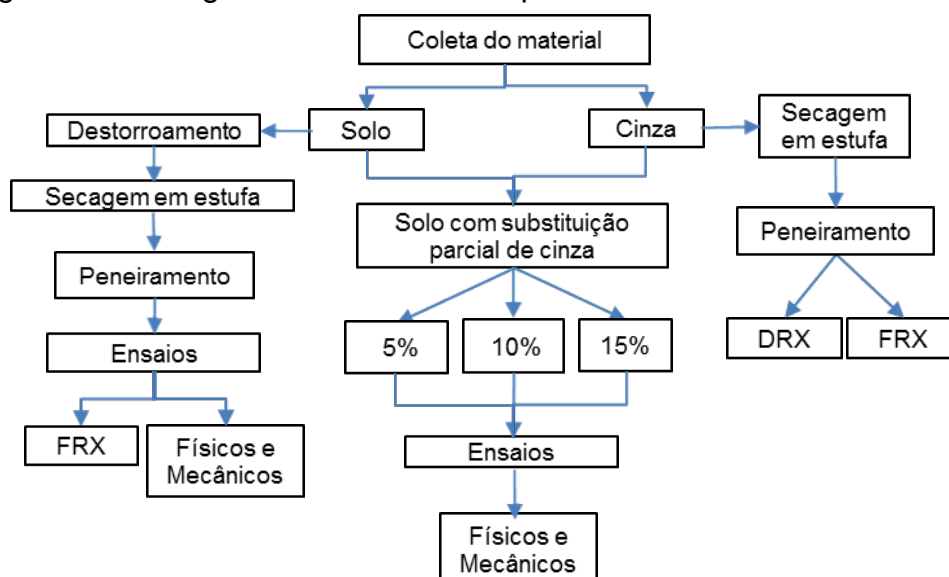
Conforme a NBR 12653/2015, a cinza leve também é chamada de cinza volante e possui atividade pozolânica. Os materiais pozolânicos são definidos como materiais silicosos ou silicoaluminosos, que por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades aglomerantes. Segundo o DNIT, o processo de estabilização do solo com a mistura desse tipo de material, se dá por pozolonização que é uma cimentação forte. Quando a estabilização se dá por este processo, é considerado material de base ou sub-base semi-rígidas.

Após a coleta da cinza leve, a mesma foi encaminhada ao LMS, onde foi seca em estufa e peneirada na peneira número 200.

3. MÉTODOS E ENSAIOS

Após a preparação dos materiais, foram realizados os ensaios dos índices físicos e mecânicos, para caracterização do solo natural, bem como do solo com as adições dos percentuais de cinza leve. Também foram realizados os ensaios de FRX (Fluorescência de Raio X), de uma amostra de solo no estado natural e da amostra de cinza leve, e ensaio DRX (Difração de Raio X) de uma amostra de cinza leve. Na figura está representado o fluxograma de toda a metodologia realizada desde a coleta dos materiais até a finalização dos ensaios.

Figura 1 – Fluxograma de todas as etapas do estudo realizado



Fonte: Do AUTOR, 2018.

3.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

“O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo (...).” (PINTO, 2006, p. 63)

Inicialmente foi realizado a caracterização do solo em seu estado natural, e posteriormente o solo aditivado nas respectivas proporções de aditivo. As normas estabelecidas para cada ensaio estão expostos na tabela 1.

Tabela 1 – Normas estabelecidas para ensaios

Ensaio	Normas
Granulometria por Peneiramento Simples	NBR 7181/16
Limite de Liquidez – LL	NBR 6459/17
Limite de Plasticidade – LP	NBR 7180/16
Compactação Energia Proctor Intermediária	NBR 7182/88
Índice De Suporte Califórnia – ISC/CBR	NBR 9895/17

Fonte: Do AUTOR, 2018.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O solo no seu estado natural, pelo ensaio de granulometria, de acordo com a classificação TRB foi um solo tipo A-4. Pelos ensaios de caracterização mecânica, teve bom resultado, apresentando-se apto para ser utilizado como fundação, ou mesmo como reforço do subleito, pois apresentou um valor de CBR de 15,9% e uma expansão de 0,58%. Pelo ensaio de granulometria simples da amostra de solo natural obteve-se 45,6% de material passante na peneira número 200. Os ensaios de plasticidade do solo natural resultaram em um valor de limite de liquidez (LL) de 29% e limite de plasticidade (LP) de 25%.

Foram realizados ensaios de fluorescência de raio x (FRX) no solo natural e na cinza leve, obtendo os resultados mostrados na tabela 2. Os resultados concordam com a descrição dada por Isaia (2007), onde é dito que cinzas volantes geralmente apresentarem granulometria mais fina, e apresentam composição mineralógica predominantemente vítrea, com 60% a 80% de sílica amorfa. Ainda de acordo com

Isaia (2007), as cinzas com baixo teor de CaO (menor que 10%), como mostra o ensaio de FRX, são as mais utilizadas no Brasil como adição mineral, uma vez que não apresentam expansão devido ao teor deste componente químico na amostra.

Tabela 2 – Resultados Ensaio FRX

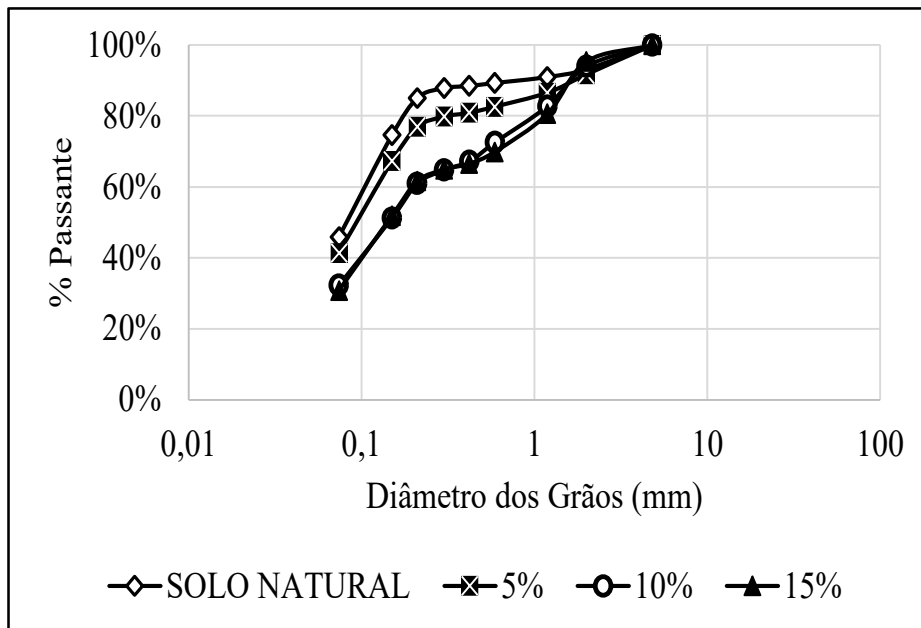
Referência (%)	Solo	Cinza Leve
SiO ₂	58,6	58,78
TiO ₂	1,38	1,12
Al ₂ O ₃	19,52	22,94
Fe ₂ O ₃	4,34	4,38
Mn ₃ O ₄	0	0
MgO	0,36	0,77
CaO	0,04	1,66
Na ₂ O	0,04	0
K ₂ O	1,16	2,62
P ₂ O ₅	0,07	0,1
SO ₃	0	0,63
PbO	0	0

Fonte: Do AUTOR, 2018.

Após caracterização dos materiais puros, foram preparadas amostras com o cinza leve nas proporções de 5%, 10% e 15% para serem submetidas a ensaios de caracterização física e mecânica a fim de determinar o efeito estabilizante deste resíduo gerado na produção termoelétrica.

As misturas de solo com cinza leve apresentaram característica arenosa, sem plasticidade, impossibilitando a realização dos ensaios de LL e LP. O ensaio de granulometria por peneiramento mostrou que o percentual passante na peneira número 200 foi de 41,40% da mistura com 5% de cinza leve, 32,33% para a mistura com 10% de cinza leve e 30,79% para a mistura de 15% de cinza leve. Na figura 3 estão dispostas as curvas granulométricas do solo natural, assim como do solo com adição de cinza leve, obtidas através do ensaio de peneiramento simples.

Figura 3 – Curvas granulométricas do solo natural e das misturas de solo com diferentes porcentagens de cinza leve

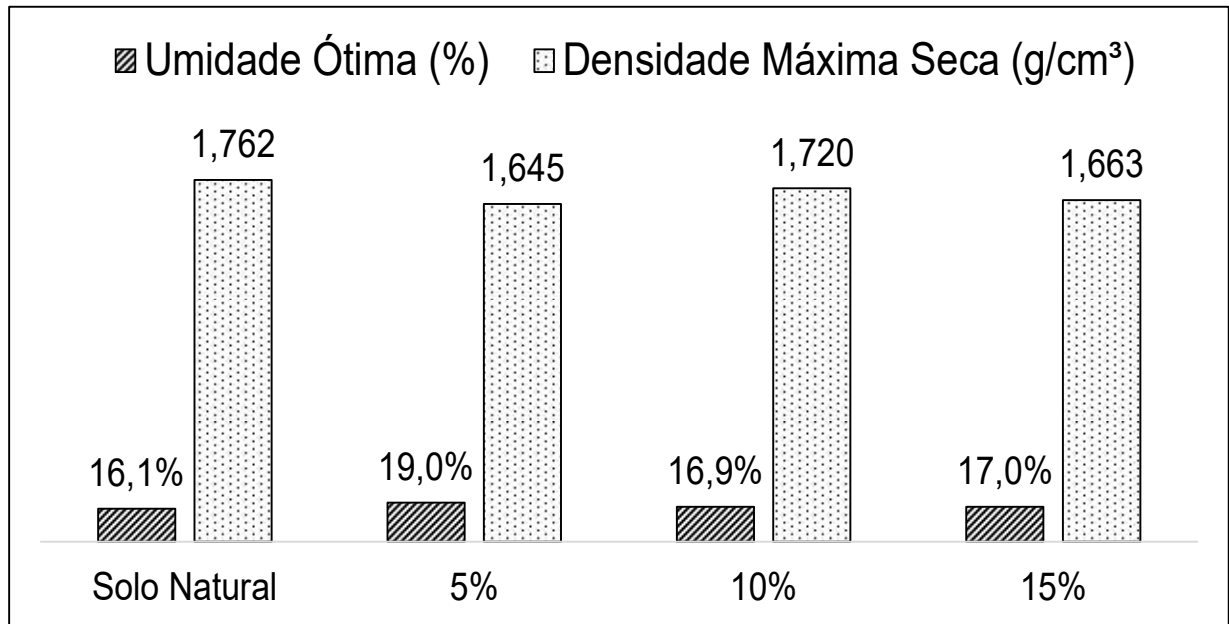


Fonte: Do AUTOR, 2018.

Pela caracterização física, classificou-se as misturas de solo e cinza leve, de acordo com a classificação TRB. A amostra de 5% enquadrou-se como um solo A-4 (solo siltoso tendendo a arenoso), enquanto as amostras de 10% e 15% como um solo A2-4 (areia ou areia siltosa).

Os resultados dos ensaios mecânicos de compactação na energia Proctor Intermediária, mostraram que com as respectivas adições de cinza, houve um aumento na umidade ótima de compactação das amostras em relação ao solo natural. A umidade ótima das misturas com cinza leve apresentou uma queda no valor, comparado ao solo natural. Na figura 4 constam os valores de umidade ótima, dada em percentual, e densidade máxima seca em g/cm^3 .

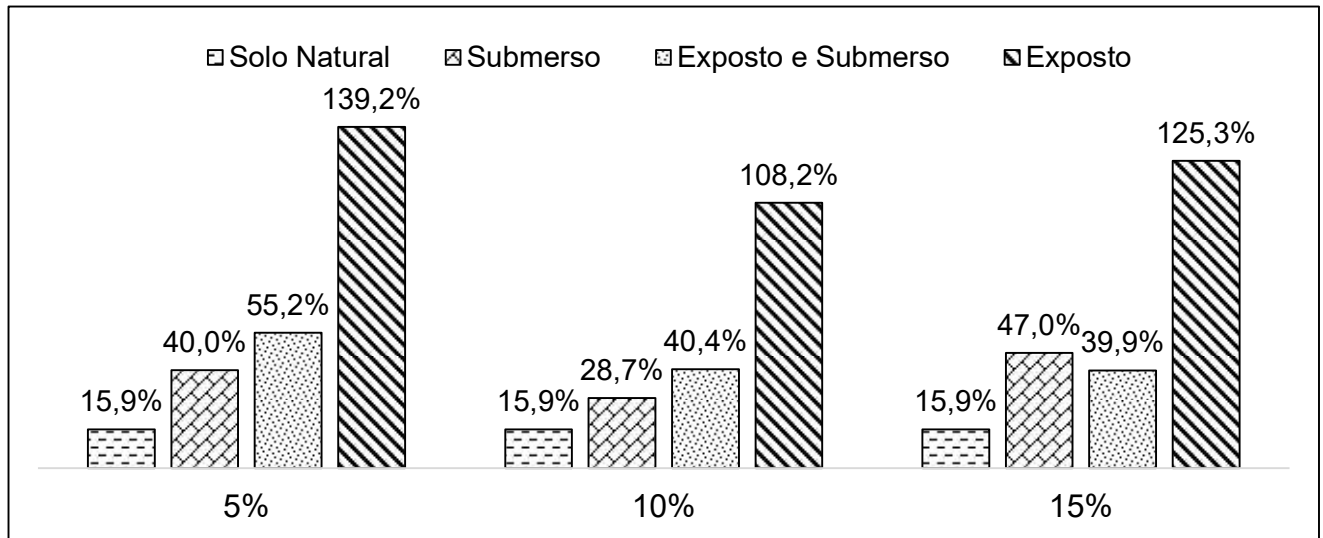
Figura 4 – Resultados da umidade ótima e densidade máxima seca de uma amostra de solo natural e das amostras de mistura de solo e cinza leve



Fonte: Do AUTOR, 2018.

Quanto ao ensaio do CBR, o solo natural foi ensaiado de acordo com a NBR 9895/17. Para as misturas com cada percentual de cinza leve, foram moldados 3 (três) corpos de prova na umidade ótima de cada mistura. Um corpo de prova, após a compactação foi submerso por 96 horas e rompido, o segundo corpo de prova ficou exposto ao tempo por 7 (sete) dias e após submerso por 96 horas foi rompido, enquanto o terceiro corpo de prova ficou exposto ao tempo por 7 (sete) dias e foi rompido na prensa do CBR sem submersão prévia. A exposição ao tempo por 7 (sete) dias foi para se obter um parâmetro do comportamento da mistura de solo e cinza quando executada em campo. Na figura 5, constam os resultados dos ensaios de CBR, das misturas e do solo natural.

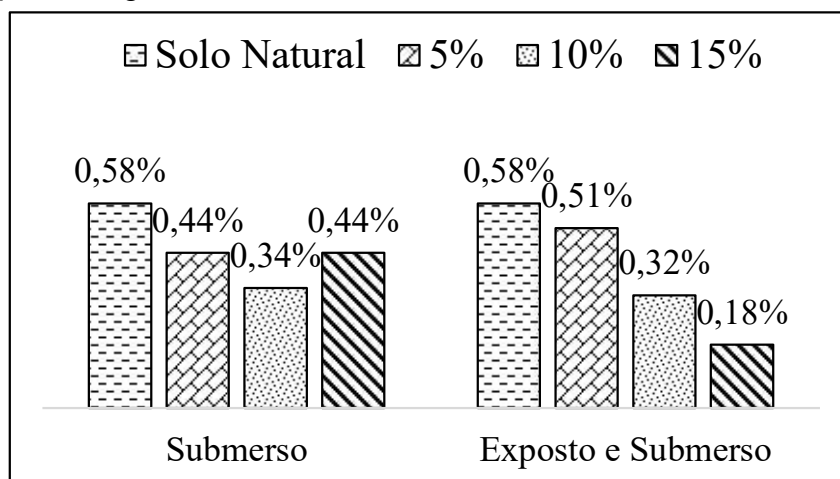
Figura 5 – Resultados de CBR para solo natural e amostras de solo com adições de cinza leve. Amostras em diferentes condições de cura.



Fonte: Do AUTOR, 2018.

Enquanto à avaliação da expansão, dos corpos de prova que ficaram submersos, os resultados obtidos são mostrados na Figura 6. Embora o solo natural não fosse tão expansivo, com as respectivas adições de cinza leve os resultados mostraram valores de expansão abaixo de 1%. Com estes resultados é possível concluir que todas as misturas poderiam ser usadas para qualquer sub-camada de pavimentos.

Figura 6 – Expansão de amostras de solo natural e solo com diferentes porcentagens de cinza leve



Fonte: Do AUTOR, 2018.

5. CONCLUSÕES

- Analisando o solo em seu estado natural, o mesmo apresentou características físicas e mecânicas de um solo classificado como siltoso, A-4 pela classificação TRB, com boas características podendo ser aproveitado para utilização como subleito ou reforço do subleito, porém não recomendado para uso como base ou sub base no pavimento.
- Quando adicionado ao solo 5% de cinza leve, não houve alteração na classificação inicial TRB, permanecendo como um solo A-4, no entanto apresentou características de um material não plástico.
- Com a adição de 10% e 15% de cinza leve, as amostras classificaram-se pela TRB como um solo A-2-4, arenoso siltoso, não líquido e não plástico.
- O solo estudado, com adição de cinza leve apresentou-se favorável e com melhoras significativas, para atender as especificações do DNIT, para que seja utilizado como sub-base de um pavimento rodoviário.
- Quando submetida aos ensaios físicos e mecânicos, a amostra com adição de 5% foi a que melhor atendeu as exigências especificadas pelo DNIT, este, sendo considerado então o melhor percentual de adição de cinza leve, para este tipo de solo.
- Quanto ao CBR, tanto os corpos de prova aditivados com cinza leve, não expostos ao tempo, quanto os expostos, quando submersos, obtiveram resultados significativamente mais elevados ao do solo natural, bem como um decréscimo na expansão, podendo desta forma, serem utilizados como camada de pavimento (reforço do subleito ou sub-base).
- Os corpos de prova, com os percentuais diferentes de cinza leve, quando somente expostos ao tempo, pelo período de 7 (sete) dias, tiveram os respectivos resultados de CBR elevados a mais de 100%. Este ensaio de CBR não previsto em norma (sem submersão dos corpos de prova), foi executado buscando-se analisar a reação entre o solo e a cinza leve quando se realiza a estabilização em campo. Pelos resultados obtidos nos três percentuais diferentes de adição de cinza leve, todos resultaram em valores de CBR maiores que 100%. Logo, este solo aditivado, pode ser utilizado mesmo como material de base.

- Recomenda-se que sejam utilizados outros tipos de solos, principalmente solos argilosos, com outros percentuais de adição de cinza para que se tenham outros parâmetros e estudos que comprovem a verdadeira eficácia da cinza leve como aditivo de melhoramento de solos.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. **Pavimentação**. Porto Alegre: Editora Globo, 1976.

BERNUCCI, Liedi Bariani (Et al.). **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 508 p.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 561p.

DNIT, **Manual De Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 274 p.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios, de ciência e engenharia da materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006. 367 p.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: PINI, 2001.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação rodoviária**. v 3. Rio de Janeiro: IPR, 1976.