

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

Pedro Arns

Professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense
par@unesc.netemail

Manuela Ramiro de Souza

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense
manuramiro1@gmail.com

Ingrid Milena Reyes Martínez Belchior

Professora Adjunta Universidade Federal de Pelotas
ingridmilenareyes@gmail.com

Resumo. *O melhoramento de solos através da adição de materiais pozzolânicos tem sido estudado devido a demanda de materiais aptos para pavimentação. As cinzas leves produzidas na combustão de carvão têm se mostrado aptas, 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, inicialmente classificado como A-4 pelo sistema TRB, com adições de cinzas leve. 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 amostra com adição de 15% foi a que melhor atendeu as exigências especificadas pelo DNIT para material de sub-base, pois atingiu um CBR de 47% e uma expansão de 0,44%.*

Palavras-chave: *Melhoramento de Solo. Cinza leve. Pavimentação.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Senço (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), 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.

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 subsequentes, a fim de que a estrutura construída do pavimento exerça sua função resistindo às 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).

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 às cargas transmitidas pela base. Do mesmo modo, os materiais de base devem ser resistentes aos esforços transmitidos pelo revestimento cujo o 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. O uso da cinza volante vem ganhando espaço por se tratar de um material pozzolânico que tem características aglutinantes. “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).

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 atendam as especificações exigidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT).

O presente estudo tem como objetivo principal analisar a possível estabilização de um solo proveniente da região de Siderópolis (SC) mediante a adição de cinzas leves obtidas no Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda, com o fim de determinar a viabilidade de utilizar misturas de solo/cinza leve como material de base e/ou sub-base, ou mesmo como reforço do subleito.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O solo utilizado nesta pesquisa 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 ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), onde foi destorroado, posteriormente seco em estufa e peneirado na malha número 4.

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 preparação dos materiais, foram realizados os ensaios dos índices físicos (limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria) e mecânicos (compactação na energia Proctor intermediária e CBR), 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. Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos descritos nas normas indicadas na Tabela 1.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

O solo no seu estado natural, foi classificado através do sistema TRB como um solo tipo A-4, com uma porcentagem de 45,6% de partículas passantes na peneira número 200. Através dos ensaios de caracterização mecânica, foram obtidos resultados que demonstraram que este solo pode 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%. Os ensaios de plasticidade do solo natural resultaram em um valor de limite de liquidez (LL) de 29%, limite de plasticidade (LP) de 25%, obtendo-se um valor de índice de plasticidade (IP) de 4%.

Tabela 1. Normas estabelecidas para os ensaios

Determinação	Norma
Granulometria por peneiramento simples	NBR 7181/16
Limite de liquidez	NBR 6459/17
Limite de plasticidade	NBR 7180/16
Compactação energia Proctor Intermediária	NBR 7182/88
Índice De Suporte Califórnia – ISC/CBR	NBR 9895/17

3.1 Caracterização dos materiais puros

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 fina, e 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. Composição mineralógica dos materiais puros, obtida através de ensaios de fluorescência de raios-X (FRX)

Mineral	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

3.2 Análise de amostras de misturas solo/cinza leve

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

A adição de cinza leve no solo gerou a perda total da plasticidade do solo, impossibilitando a realização dos ensaios de LL e LP nas misturas de solo/cinza leve. O ensaio de granulometria por peneiramento mostrou que a medida que foi se incrementando a porcentagem de cinza leve, as misturas foram ganhando uma granulometria mais grossa, provavelmente pelo efeito aglutinante da cinza leve. Assim, como pode ser observado na Figura 1, o material passante na peneira no. 200 foi diminuído com o aumento de cinza leve, pois enquanto 41,40% da amostra com 5% de cinza leve passou na peneira 200, as porcentagens passantes para as misturas

com 10% e 15% de cinza leve, foram de 33,33% e 30,79% respectivamente.

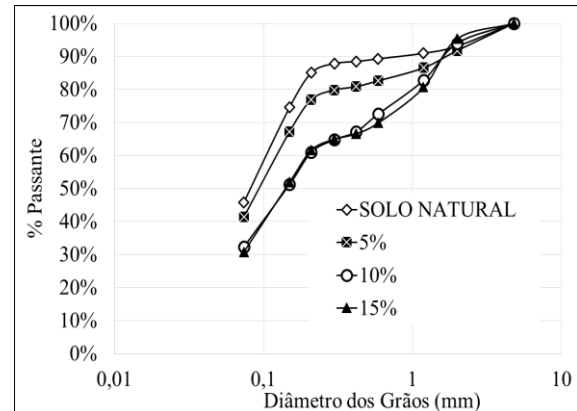


Figura 1. Curvas granulométricas do solo natural e das misturas de solo com diferentes porcentagens de cinza leve

Desta maneira, como a granulometria e a plasticidade do solo ficou alterada pela presença de cinza leve, as misturas obtiveram diferentes classificações através do sistema TBR. A amostra com 5% de cinza leve enquadrou-se como um solo A-4 (solo siltoso tendendo a arenoso), enquanto as amostras de 10% e 15% ficam classificadas como um solo do tipo A2-4 (areia ou areia siltosa).

Os resultados dos ensaios mecânicos de compactação na energia Proctor Intermediária (ver Tabela 3), mostraram que com as respectivas adições de cinza, houve um aumento na umidade ótima de compactação das amostras em relação ao solo natural. A massa específica seca máxima das misturas com cinza leve apresentou uma queda no valor, comparado ao solo natural.

Para realizar o ensaio do CBR, para cada uma das misturas, foram moldados 3 (três) corpos de prova na sua respectiva umidade ótima de cada mistura. Um corpo de prova, após a compactação foi submerso por 96 horas e rompido (segundo o procedimento padronizado pela norma

brasileira NBR 9895/17), 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.

Tabela 3. Umidade ótima e massa específica seca máxima. Amostras compactadas na energia Proctor Intermediária

Amostra	Umidade ótima (%)	Massa específica seca máxima (g/cm ³)
Solo natural	16,1%	1,76
Solo + 5% de cinza leve	19,0	1,65
Solo + 10% de cinza leve	16,9	1,72
Solo + 15% de cinza leve	17,0	1,66

Na Figura 2 constam os resultados dos ensaios de CBR das misturas e do solo natural. O valor do CBR do solo obtido através do procedimento normatizado foi de 15,9%. 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. Os resultados mostraram valores muito maiores nas amostras que foram expostas ao tempo sem submersão antes da avaliação do CBR. Pelos resultados obtidos nos três percentuais diferentes de adição de cinza leve, todos resultaram em valores de CBR

maiores que 100%, isto devido ao solo não ter sido submetido a saturação, o que resulta em capacidades de carga superiores do que as obtidas em solos saturados através da imersão das amostras antes do rompimento.

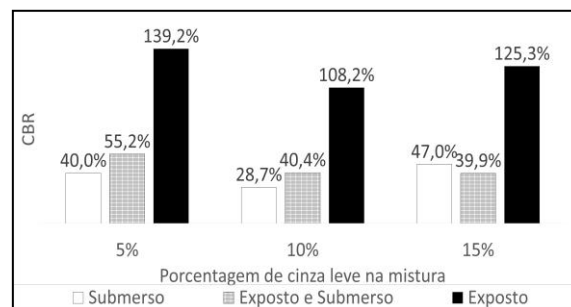


Figura 2. CBR para amostras de solo com adições de cinza leve. Amostras em diferentes condições de cura.

Já nas amostras avaliadas de acordo com o procedimento descrito na norma NBR 9895/17, isto é, submersas 96 horas antes da medição de CBR, foram obtidos valores acima de 20% permitindo seu uso para material de sub-base. Igualmente, os resultados das amostras expostas por 7 dias e submersas por 96 horas previamente a à medição do CBR, atingiram também valores acima de 20%, indicando características de resistência aptas para sub-base.

Enquanto à avaliação da expansão, o solo natural obteve uma expansão de 0,58% após a avaliação padronizada. Os resultados de expansão obtidos para as misturas com adições de cinza leve são mostrados na Figura 3. Os resultados mostraram valores de expansão abaixo de 1%, tanto no solo natural como nas misturas com cinza leve. Com estes resultados de expansão é possível concluir que todas as misturas poderiam ser usadas para qualquer sub-camada de pavimentos.

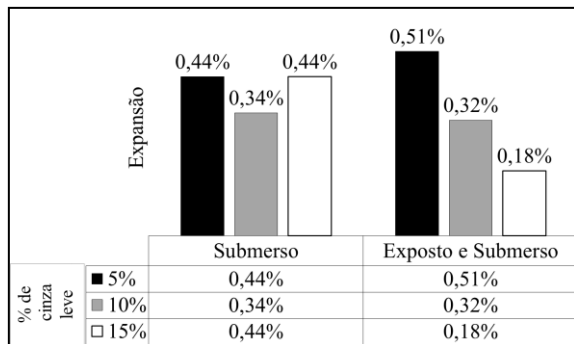


Figura 3. Expansão de amostras com diferentes porcentagens de cinza leve.

4. CONCLUSÕES

- O solo estudado em seu estado natural, classificado como siltoso, tipo A-4 pela classificação TRB, apresentou boas características para ser utilizado 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.
- A amostra com adição de 15% foi a que melhor atendeu as exigências especificadas pelo DNIT, pois atingiu o maior valor de CBR quando avaliada pelo procedimento padronizado (amostras submersas).
- Os corpos de prova com os percentuais diferentes de cinza leve, quando somente expostos ao tempo pelo período de 7 dias, tiveram resultados de CBR elevados a mais de 100%, pois evidentemente a mistura de solo não foi submetida a saturação o que faz com que se obtenham valores maiores de resistência.

- Recomenda-se que sejam utilizados outros tipos de solos, 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.

5. 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.
- 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, Wlastermiller de. Manual de técnicas de pavimentação. São Paulo: PINI, 2001.
- SOUZA, Murillo Lopes de. Pavimentação rodoviária. v 3. Rio de Janeiro: IPR, 1976.