

ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO ARENOSO COM CINZA DA CASCA DE ARROZ E CAL PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTO

Marcelo Bonfante (1); Joe Arnaldo Villena Del Carpio (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)marcelobonfante@unescc.net; (2)joevillena@gmail.com

RESUMO

A pesquisa relatada teve por objetivo analisar a viabilidade técnica de estabilizar-se um solo arenoso com cinza de casca de arroz (CCA) e cal. O solo arenoso utilizado apresenta baixo poder de suporte, sendo pouco adequado para camadas de sub-base e base de pavimento rodoviário. Duas combinações de teores de CCA residual do processo de parbolização do arroz e cal foram adotadas. Para efeito de comparação procurou-se manter constante o teor da CCA, e modificar o teor do agente estabilizante. Assim as combinações adotadas foram: Uma mistura de 80% de solo arenoso, 15% de CCA e 5% de cal, denominada de 15%CCA+5%Cal; e uma mistura de 75% de solo arenoso, 15% de CCA e 10% de cal denominada de 15%CCA+10%Cal. Conclui-se que o incremento do ISC do solo arenoso estudado é significativo. A causa do incremento se deve as reações pozolânicas entre a sílica amorfa da CCA e a cal que produzem melhoria na capacidade de suporte do solo estabilizado. A mistura 15%CCA+5%Cal na energia de compactação Proctor Normal, já tem um valor muito maior do que exigido em norma para base (ISC \geq 80%) e sub-base (ISC \geq 20%), e esta mistura poderia ser mais econômica, pois precisaria de menos cal para atingir o valor de ISC especificado por norma, em relação à mistura 15%CCA+10%Cal.

Palavras-Chave: Solo, estabilização, casca de arroz, cinza da casca de arroz, cal, pavimentação.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Lacerda (2011), as pesquisas voltadas para preservação ambiental estão cada vez mais presentes, visto que chegou a um ponto no qual é necessário tomar medidas sobre a degradação do planeta, já que no futuro seria impossível realizá-las e assim evitar a escassez de recursos naturais.

Com o aumento da demanda por agregados naturais, que são insumos minerais vitais empregados na construção civil, e tendo significativa importância na construção de estradas, para atender essas crescentes necessidades de consumo do ser humano relacionadas a essas atividades (SILVA 2010), um tema que está sendo bastante discutido em todo o mundo é o uso de materiais alternativos em pavimentação, que além de reduzir os impactos naturais gerados por diversos tipos de resíduos há também melhorias técnicas e econômicas (LACERDA 2011).

Dentro desse contexto, Saraiva (2006) destaca que uma das alternativas ao modelo estrutural rodoviário vigente consiste na adoção de materiais alternativos de inserção regional que, mesmo não se enquadrando totalmente as condicionantes normativas, assegurem um desempenho estrutural tão satisfatório quanto aos sistemas convencionalmente adotados, ou seja, a busca por materiais sucedâneos que apresentam comportamentos semelhantes estruturalmente podem ser utilizados sem maiores restrições de aplicação. Neste contexto, além dos resíduos de mineração, incluem-se os solos residuais, escórias e materiais sintéticos.

Na região sul catarinense, por sua vez, destaca-se entre os resíduos mais abundantes a cinza produzida pela mineração do carvão mineral que segundo alguns autores demonstraram ser viável a sua utilização para uso rodoviário, pois apresentam características mecânicas adequadas, a também a cinza da casca de arroz (CCA) produzida durante o processo de beneficiamento do arroz.

De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, o Brasil está em nono lugar entre os países consumidores de arroz, e entre os maiores produtores nacionais estão os estados de Mato Grosso, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nas Indústrias, durante o processo de beneficiamento do arroz, é gerado um dos mais abundantes resíduos que é a casca de arroz, e por ser um material fibroso é de difícil degradação, permanecendo inalteradas por longo tempo (VIEL 2012).

Esta biomassa vem sendo utilizada como fonte de energia pelo processo de sua queima já que as empresas de beneficiamento de arroz utilizam a casca, substituindo a lenha, como combustível para secagem e parbolização do cereal, devido ao elevado poder calorífico da casca de arroz. Após a queima gera-se um grande volume de cinzas e o destino final é o aterro, criando um problema ambiental e poluindo o solo, o ar, os rios, córregos e lagos (LACERDA 2011).

De acordo com Medeiros (2010) a casca de arroz é um produto energético, pois 1000kg de arroz produzem cerca de 200kg de casca, cuja a combustão gera 40kg de cinza. Na safra de 2014 a produção brasileira de arroz chegou a 12 milhões de toneladas no ano (IBGE 2014), as cascas representam 20% desse valor, o que significa dizer que a produção do rejeito chegou a 480 mil toneladas.

No caso do sul do Estado de Santa Catarina, a produção no ano 2014 foi de mais de 1 milhão de toneladas de arroz. Baseando-se na hipótese que toda a casca gerada fosse queimada, pode se admitir que mais de 40 mil toneladas de cinza de casca de

arroz foram geradas no ano, fica assim evidente que seu aproveitamento adequado resultará em benefício ao processo de conservação ambiental.

A adição de CCA aos solos apresenta duas vantagens. Permite melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos solos, habilitando seu emprego como materiais em pavimentos (BEHAK 2007).

Uma seção transversal típica de um pavimento – com todas as camadas possíveis – consta de uma fundação, o subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento, que depende de fatores como o tipo de revestimento, condições de tráfego, os materiais utilizados, fundações, o clima e o nível da água (SENÇO 2001).

O sistema de pavimentação em blocos pré-moldados de concreto - também conhecido como sistema de pavimentação intertravada - consiste na utilização de peças pré-moldadas com características técnicas específicas para esse tipo de aplicação. Tendo um comportamento estrutural semelhante aos pavimentos flexíveis, os pavimentos intertravados, com blocos de concreto, permitem liberar o tráfego logo após o assentamento e executar consertos sem deixar remendos, sendo uma boa alternativa, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Os pavimentos com blocos de concreto têm como característica principal a sua superfície antiderrapante proporcionando maior segurança em rampas ou curvas e em casos de frenagem, principalmente quando a superfície se encontra molhada. As juntas entre as peças possibilitam a infiltração de uma parcela das águas incidentes permitindo uma boa drenagem das águas da chuva e, ao mesmo tempo, evitam a impermeabilização do solo, amenizando desta maneira, o impacto ambiental. O assentamento dos blocos de concreto é executado sobre um colchão de areia não compactado, porém devidamente regularizado. O colchão de areia do pavimento tem objetivo principal de servir de apoio ao assentamento dos blocos de concreto. A espessura e a qualidade da areia utilizada estão diretamente ligadas ao desempenho final do pavimento. O comportamento estrutural dos blocos de concreto está inteiramente ligado à espessura da camada, à granulometria e ao índice de forma dos grãos (JUNIOR 2013).

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT 2006), a utilização destes tipos de pavimento, em rodovias caiu consideravelmente, na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto. Assim é que, de uma maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias

urbanas e alguns acessos viários - muito embora tal execução envolva algumas vantagens.

As areias e os solos arenosos apresentam baixa atividade pozolânica frente à cal, por isso são pobres em argilo-minerais e particularmente em sílica, portanto, não reagem adequadamente à estabilização com cal. Classicamente são estabilizados com cimento Portland, muitas vezes com alto consumo do estabilizante, implicando altos custos construtivos. Uma alternativa, para substituir o cimento Portland pela cal e reduzir custos, é adicionar a este tipo de solo a sílica necessária para produzir reações pozolânicas com a cal. Como as CCA são ricas em sílica, a estabilização de areias e solos arenosos com CCA e cal resultam em uma alternativa técnica e economicamente conveniente (BEHAK 2007).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC), a diversas idades, de um solo arenoso com adição de cinza da casca de arroz (CCA) e cal.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral foram definidos os objetivos específicos descritos a seguir:

- Caracterizar fisicamente o solo arenoso, a CCA, e a cal utilizado no estudo;
- Dosagem de misturas de solo arenoso com adição de CCA e cal em duas proporções: Uma mistura constituída por 80% de solo arenoso, 15% de CCA e 5% de cal; e uma mistura constituída por 75% de solo arenoso, 15% de CCA e 10% de cal;
- Determinar através dos ensaios de compactação na energia de Proctor normal e modificado, a umidade ótima e a massa específica seca do solo arenoso sem adição de CCA e cal e das misturas de solo arenoso com CCA e cal;
- Determinar o Índice Suporte Califórnia, do solo arenoso sem adição de CCA e cal e das misturas de solo com CCA e cal, às idades de cura de 3, 14 e 28 dias.

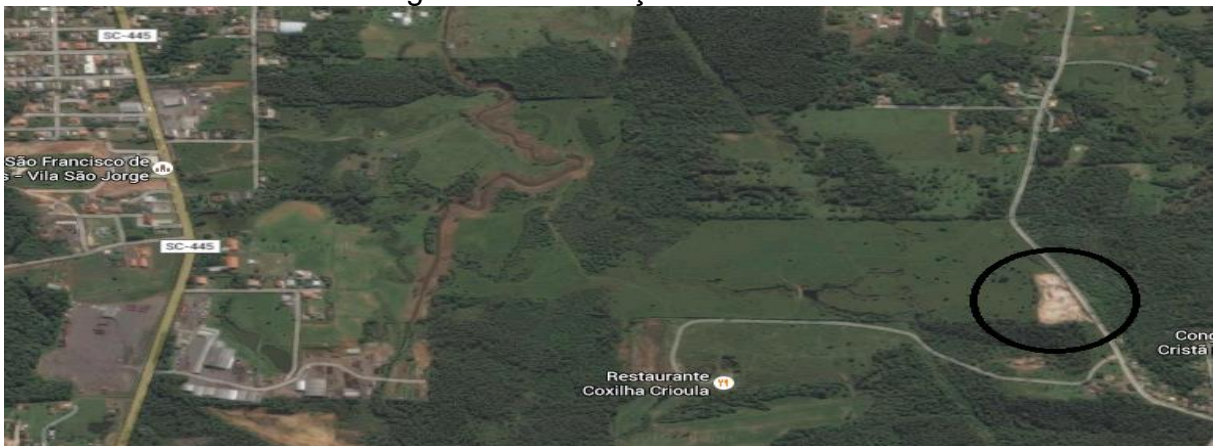
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Agregado

O solo arenoso utilizado na pesquisa foi coletado numa jazida de solo explorada no município de Siderópolis, região sul do estado de Santa Catarina (Figura 1). O solo arenoso é extraído de morros (Figura a) e peneirado em uma máquina para limpeza das impurezas do local (Figura b), depois é colocado em montes no estoque junto com outros solos que a jazida comercializa. Após a coleta, as amostras foram armazenadas e transportadas em sacos plásticos, com os cuidados necessários para evitar contaminações do material. Em laboratório, o solo arenoso foi seco em estufa (Figura c).

Figura 1: Localização da Jazida.



Fonte: Google Earth. Acesso em: 02 nov. 2015.

Figura: a) Solo no estado natural extraído. b) Solo peneirado.
c) Solo estado seco em estufa.



(a)

(b)

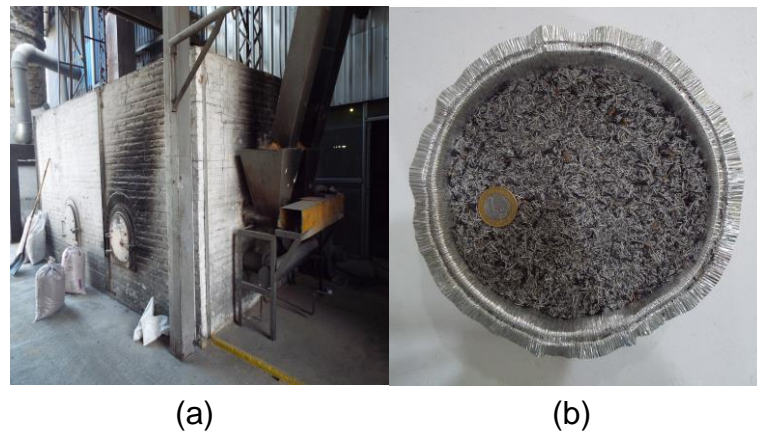
(c)

Fonte: Do autor.

2.1.2 Cinza da casca de arroz residual

A cinza de casca de arroz empregada na pesquisa foi fornecida pela empresa Cereais Célia, que é uma das quatro empresas de beneficiamento de arroz, localizada na cidade de Meleiro ao sul do Estado de Santa Catarina. A cinza foi coletada diretamente de um dos fornos sem temperatura controlada (Figura a), que fazem a queima da casca de arroz para parbolização do cereal. Para esta pesquisa será utilizada a CCA no estado em que ela foi coletada (*in natura*), como mostrado na Figura b.

Figura: a) Forno sem temperatura controlada. b) Cinza da casca de arroz *in natura*.



(a)
Fonte: Do autor.

(b)

2.1.3 Cal

Foi utilizada uma cal comercial, conhecida popularmente como “cal virgem”, da marca “Cerro Branco”, produzida pela empresa Maxical Ltda, localizada na cidade de Almirante Tamandaré - Paraná. Como mostrado na Figura a e b.

Figura: a) Cal da marca Cerro Branco. b) Aparência da cal.



(a)

Fonte: Do autor.

(b)

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica do solo arenoso, da cinza da casca de arroz e da cal, foi realizada de acordo com a norma NBR 7181/84.

2.2.2 Massa específica real

A massa específica real dos grãos do solo arenoso foi determinada através do ensaio denominado frasco de Chapman (Figura a), segundo o procedimento descrito pela norma DNER-ME 194/98. A massa específica real da cinza da casca de arroz foi utilizado o picnômetro, seguindo a norma DNER-ME093/64 (Figura b). Para massa específica real da cal, no ensaio, foi utilizado o frasco Le Chatelier, segundo o procedimento descrito na norma DNER-ME 085/94 (Figura c).

Figura: Ensaio da massa específica.
a) Solo arenoso. b) Cinza da casca de arroz. c) Cal.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Do autor.

2.2.3 Dosagem e Mistura

Duas combinações de teores de CCA residual do processo de parbolização do arroz e cal foram adotadas. Para efeito de comparação procurou-se manter constante o teor da CCA, e modificar o teor do agente estabilizante. Assim as combinações adotadas foram: Uma mistura de 80% de solo arenoso, 15% de CCA e 5% de cal, denominada de 15%CCA+5%Cal; e uma mistura de 75% de solo arenoso, 15% de CCA e 10% de cal denominada de 15%CCA+10%Cal.

O solo arenoso e a CCA foram secos na estufa em laboratório. A cal ficou no próprio saco plástico da embalagem de compra, e foi utilizada como é comercializada. O solo, a CCA, a cal e a água, foram pesados com precisão de 0,01 g. Os teores de CCA e de cal se calcularam em relação ao peso de solo seco. Os teores de água foram calculados em função do peso seco da mistura.

Inicialmente misturaram-se o solo, a CCA e a cal, no estado seco, realizando-se uma homogeneização manual da mistura conforme Figura a. Logo após se acrescentou água garantindo a total homogeneidade da mistura e evitando perdas por evaporação (Figura b). As misturas produzidas foram utilizadas nos ensaios de compactação e de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Figura: Mistura solo-CCA-cal. a) Estado seco. b) Estado saturado.



(a)

(b)

Fonte: Do autor.

2.2.4 Ensaios de Compactação

Para determinar os parâmetros ótimos de compactação, se realizaram ensaios de compactação para o solo arenoso sem adição de CCA e cal, para a mistura 15%CCA+5%Cal, e para a mistura 15%CCA+10%Cal. Para o solo arenoso e as misturas de solo+CCA+cal, foram executados ensaios de compactação nas energias Proctor Normal e Proctor Modificado. Para a energia de compactação Proctor Normal, foram executadas três camadas de material no cilindro com capacidade de 1000 cm³, com 12 golpes por camada com o soquete de 2500g de massa, já para a energia de compactação Proctor Modificada foram cinco camadas de material no cilindro com capacidade de 1000 cm³, com 27 golpes com o soquete de 4536g de massa, os ensaios foram realizados conforme a norma a NBR7182/86.

Os resultados de umidade ótima e massa específica seca máxima foram, posteriormente, utilizados para a moldagem dos corpos de prova para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

2.2.5 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) do solo arenoso se realizaram em corpos-de-prova compactados na energia Proctor Normal e Proctor Modificada, os corpos de provas foram moldados com os valores de teores de umidade encontrados nos ensaios de compactação ($w_{ót}$).

Após moldagem e compactação dos corpos de provas do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal, os mesmos foram imersos em água por um tempo de cura de 3 dias, depois desse período, foram feitas as leituras de expansão e se realizou os ensaios de ISC conforme estabelece a NBR 9895:1987.

Para as misturas solo+CCA+cal foram moldados corpos de prova para um tempo de cura de 14 e 28 dias, pois as reações pozolânicas e a carbonatação são dependentes do tempo, ou seja, iniciam-se algumas semanas após da adição da cal, em presença de água, e se desenvolvem durante um longo período de tempo, e até vários anos, em alguns casos. Estas reações ocorrem na chamada fase lenta da estabilização alcalina. As reações pozolânicas causam a formação de produtos cimentantes, responsáveis pelo aumento da resistência e da durabilidade das misturas solo-cal, constituindo a estabilização propriamente dita (BEHAK 2007).

Assim, foram moldados e compactados os corpos de provas, e colocados em imersão por 3 dias, depois de feito as leituras de expansão conforme pede a norma, armazenaram-se os moldes das misturas solo+CCA+cal em sacos plásticos amarados (Figura a), e foram mantidos em um cesto com água, e envolvendo com fita para manter a umidade como uma câmara úmida (Figura b) evitando a perda de umidade e a carbonatação da cal.

Os moldes de corpos de provas foram tirados do cesto, e dos plásticos, e colocados em imersão por 3 dias novamente como de pede a norma, pois poderia haver uma possível mudança na expansão, como pede a norma.

Figura: a) Corpos de prova em sacos plásticos. b) Cesto com água.



(a)

(b)

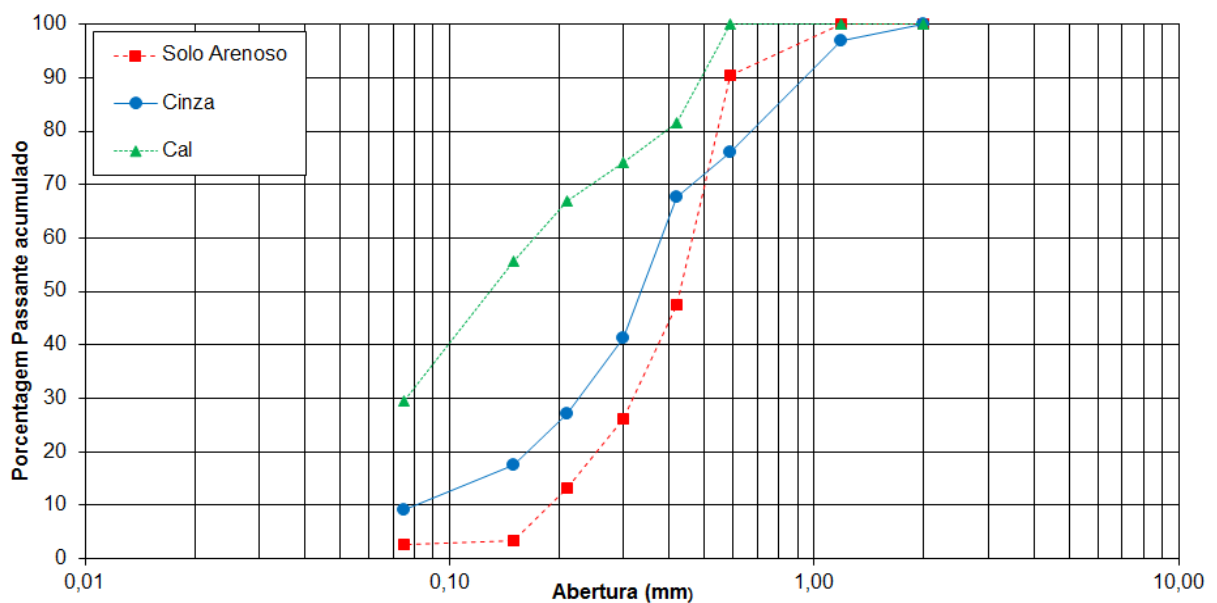
Fonte: Do autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GRANULOMÉTRIA

A distribuição granulométrica da amostra do solo da cal e da cinza da casca de arroz está apresentada na Figura 2.

Figura 2: Distribuição Granulométrica.



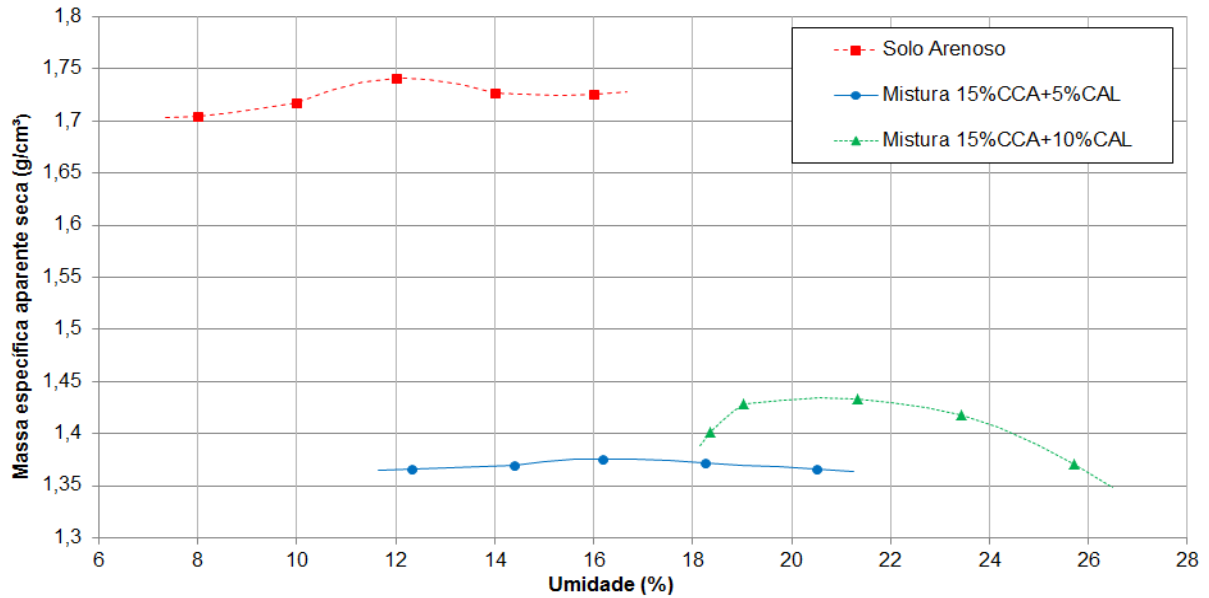
Fonte: Do autor.

A CCA utilizada apresenta uma granulometria fina, juntamente aliada a granulometria fina da cal, pode favorecer positivamente para a formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

3.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

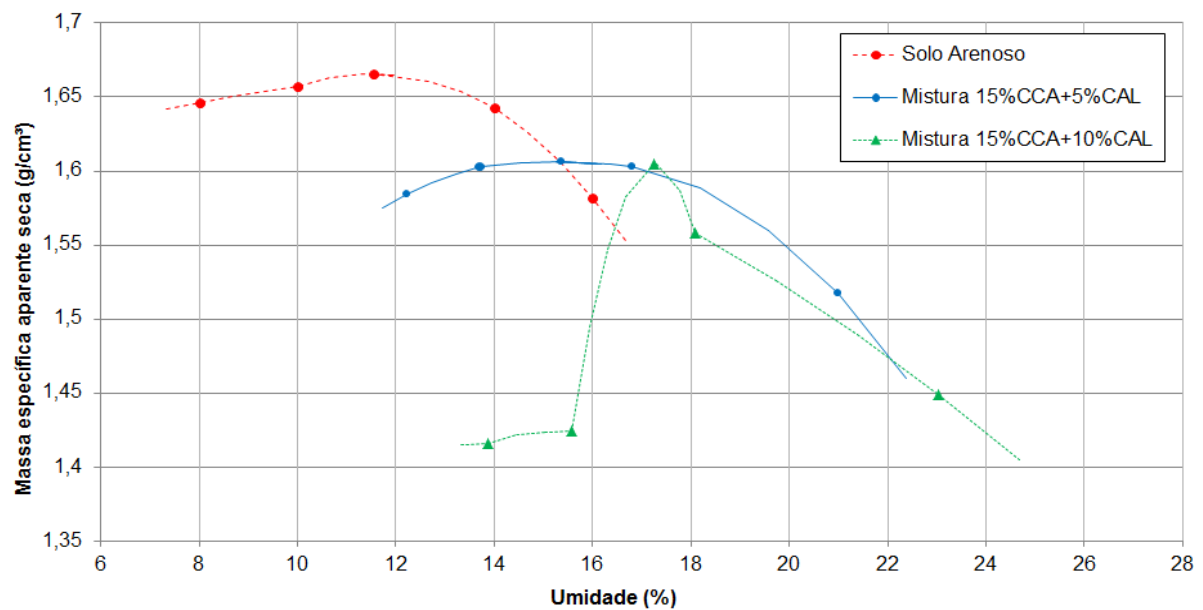
A Figura 3 e 4 mostram as curvas de compactação do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal, na energia Proctor Normal e Proctor Modificada.

Figura 3: Curva de compactação na energia Proctor Normal.



Fonte: Do autor.

Figura 4: Curva de compactação na energia Proctor Modificada.



Fonte: Do autor.

As massas específicas aparente seca máximas (MEASM) e os teores de umidade ótima ($\omega_{ót}$), encontrados para a mistura solo-CCA-cal e o solo arenoso compactado nas energias Normal e Modificada são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros ótimos de compactação.

Material	Energia de Compactação	Massa específica aparente seca (g/cm ²)	Umidade ótima (%)
Solo arenoso	Normal	1,7413	12,24
Solo arenoso	Modificado	1,6658	11,53
Mistura 15%+5%	Normal	1,3761	16,50
Mistura 15%+5%	Modificado	1,6061	15,26
Mistura 15%+10%	Normal	1,4340	20,61
Mistura 15%+10%	Modificado	1,6045	17,25

Fonte: Do autor.

A adição de CCA e de cal causa uma diminuição na massa específica aparente seca e um aumento do teor ótimo de umidade, em comparação com o solo arenoso para as duas energias de compactação.

A queda da massa específica aparente seca na mistura é devida à soma das baixas densidades reais dos grãos (G) da CCA e da cal, sendo que não houve tempo suficiente para desenvolverem-se as reações pozolânicas (ALI et al. 1992).

Segundo Zhang et al. (1996), parte da água acrescentada à mistura é absorvida pela CCA, devido a suas características porosas, outra parte da água é consumida pela cal na hidratação. Como resultado será necessário adicionar mais água para reduzir os efeitos da sucção nos vazios, de forma de conseguir a maior eficiência na compactação.

3.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

O Índice de Suporte Califórnia (ISC) é um ensaio relativamente simples e aplicado como parâmetro da resistência de suporte de solos e materiais granulares ou de solos para subleito, sub-base e base na pavimentação de rodovias. Muito utilizado como parâmetro de resistência de solos com aplicação em estradas. Assim, como o interesse desta pesquisa é a aplicação dos resultados em estradas, o ensaio de ISC foi realizado.

Na Tabela 2 são mostrados os valores de ISC obtidos para o solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal nas energias de compactação Proctor Normal e Proctor Modificada para um tempo de cura de 3, 14 e 28 dias.

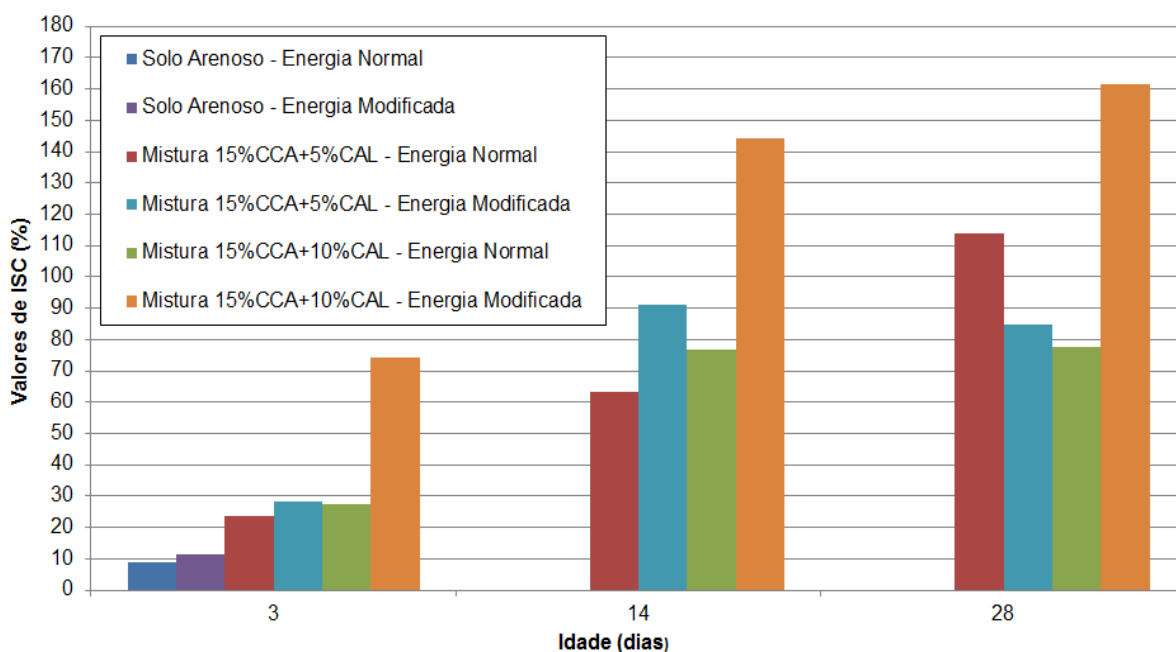
Tabela 2: Valores de ISC.

Material	Energia de Compactação	Valores de ISC (%)		
		Tempo de Cura		
		3 dias	14 dias	28 dias
Solo Arenoso	Normal	8,9	-	-
Solo Arenoso	Modificado	11,6	-	-
Mistura 15%+5%	Normal	23,6	63,4	114,0
Mistura 15%+5%	Modificado	28,1	91,3	84,7
Mistura 15%+10%	Normal	27,5	76,8	77,7
Mistura 15%+10%	Modificado	74,1	144,3	161,4

Fonte: Do autor.

Na Figura 5 mostram graficamente o aumento dos valores do ISC do solo arenoso e das misturas solo+CCA+cal compactados nas energias Proctor Normal e Proctor Modificada para um tempo de cura de 3, 14 e 28 dias.

Figura 5: Valores de ISC.



Fonte: Do autor.

Os resultados mostram que com 15% de CCA e 5% de cal é 2,6 e 2,4 vezes maior que os ISC obtidos para o solo arenoso para tempo de cura de 3 dias, compactado nas energias Normal e Modificada respectivamente. Na média o incremento do ISC, devido à estabilização do solo, para um tempo de cura de 14 dias, é de 7,5 vezes, embora se obteve uma queda significativa no valor de ISC, para um tempo de cura de 28 dias na energia de compactação Proctor Modificada em relação e a energia Proctor Normal. A perda de umidade no local de cura é uma possível causa para esse fator, contudo, o valor de ISC para uma energia de compactação Proctor Normal já é 12,8 vezes maior que a do solo arenoso compactado na mesma energia. Para a mistura 15% de CCA e 10% de cal, percebemos que para o incremento de 5% de cal em relação à mistura anterior, não se obteve um ganho na atividade pozolânica na energia de compactação Proctor Normal, assim os valores obtidos são praticamente iguais aos da mistura 15%+CCA+5%Cal, Porém verificasse que para a energia de compactação Proctor Modificada para um tempo de cura de 3 dias, a mistura apresenta uma ISC 6,3 vezes maior que o solo arenoso, valores próximos aos encontrados para 14 dias de cura nas duas energias na mistura 15% CCA e 5% cal. Para um tempo de cura de 28 dias se obteve um ISC quase 14 vezes maior que o solo natural na energia Proctor Modificada.

A partir dos dados obtidos, pode-se dizer que a mistura 15%CCA+5%Cal na energia de compactação Proctor Normal, já tem um valor muito maior do que exigido em norma para base (ISC \geq 20%) e sub-base (ISC \geq 80%). Em relação à mistura 15%CCA+10%Cal, esta mistura poderia ser mais econômica, pois precisaria de menos cal para atingir o valor de ISC especificado por norma.

Assim, conclui-se que o incremento do ISC do solo arenoso estudado é significativo. A causa do incremento se deve as reações pozolânicas entre a sílica amorfa da CCA e a cal que produzem melhoria na capacidade suporte do solo estabilizado. O efeito de filler da cinza e da cal acrescentados ao solo, atuando como finos, produzem uma correção granulométrica, sendo mais outra causa possível do aumento do ISC.

4. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de laboratório e as análises realizadas permitem resumir as seguintes conclusões.

- A adição de CCA e de cal causa uma diminuição na massa específica aparente seca e um aumento do teor ótimo de umidade, em comparação com o solo arenoso para as duas energias de compactação, devido às características porosas da cinza de casca de arroz e pelo consumo de água pela cal na hidratação.
- Conclui-se que o incremento do ISC do solo arenoso estudado é significativo. A causa do incremento se deve as reações pozolânicas entre a sílica amorfa da CCA e a cal que produzem melhoria na capacidade suporte do solo estabilizado.
- A mistura 15%CCA+5%Cal na energia de compactação Proctor Normal, para um tempo de cura de 28 dias, já tem um valor muito maior do que exigido em norma para base (ISC \geq 80%) e sub-base (ISC \geq 20%), e esta mistura poderia ser mais econômica, pois precisaria de menos cal para atingir o valor de ISC especificado por norma, em relação à mistura 15%CCA+10%Cal.

Constatou-se que a cinza de casca de arroz residual empregada na pesquisa possibilita, em conjunto com a cal, a produção de um material significativamente mais resistente e durável que o solo natural, constituindo-se, portanto, em alternativamente tecnicamente viável e ambientalmente correta para pavimentação, e assim propiciará significativa melhoria na malha viárias de regiões produtoras de arroz, com reflexos sócio-econômicos. Igualmente contribuirá para a preservação do meio ambiente, empregando um resíduo abundante e reduzindo se a exploração de jazidas de recursos não-renováveis, como solos e rochas.

5. REFERÊNCIAS

ALI, F. H.; ADNAN, A.; CHOY, C. K. **Geotechnical Properties of a Chemically Stabilized Soil from Malaysia with Rice Husk Ash as an Additive**. Geotechnical and Geological Engineering, v. 10, n. 2, pp. 117 – 134, Amsterdam, 1992.

BEHAK, Leonardo. **Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e Cal**. 2007. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Rio Grande do Sul).

JUNIOR, Clóvis Luis Pranke. **Análise do comportamento mecânico em pavimentos intertravados de blocos pré-moldados de concreto com baixo volume de tráfego**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul.

LACERDA, Diego Meira de. **Análise mecânica pelo método marshall em misturas asfálticas com agregados reciclados**. 2011. Dissertação de mestrado (Universidade Federal da Paraíba).

MEDEIROS, E. N. M. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA**. 2010. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia (Universidade de Brasília).

Manual de Pavimentação: DNIT. IPR -719 3. Ed.. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

SARAIVA, S. L. C. **Metodologia e Análise Experimental do comportamento Geotécnico da Estrutura de Pavimentos Rodoviários**. 2006. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal de Ouro Preto).

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 2001.

SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. **Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de Ferro**. 2010. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Ouro).

VIEL, Walmor Barbosa. **Uso de cinza de casca de arroz e de eucalipto na composição de um vidro Cru**, 2012. 18f. Trabalho de Conclusão de Estágio (Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

ZHANG, M. H.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V. M. **Rice Husk Ash as Paste and Concrete: Some Aspects of Hydration and the Microstructure of the Interfacial Zone between the Aggregate and Paste**. Cement and Concrete Research, v. 26 (6), pp. 963-977, 1996.