

Eixo Temático ET-11-013 - Outros

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

Marcelo Bonfante<sup>1</sup>, Joe Arnaldo Villena Del Carpio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Civil, SC;

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes, PR.

### **RESUMO**

A presente pesquisa teve por objetivo analisar a viabilidade técnica da estabilização de um solo arenoso com cinza de casca de arroz e cal. O solo arenoso utilizado apresentava baixa capacidade de suporte, sendo pouco adequado para camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários. Foram dosadas duas combinações de cinza de casca de arroz e cal; para efeito de comparação procurou-se manter constante o teor de cinza e modificar o teor de cal. As misturas dosadas foram submetidas ao ensaio de compactação e Índice de Suporte Califórnia e comparadas com amostras de solo arenoso sem adições. Os resultados mostraram que a adição de 15% de cinza de casca de arroz e 10% de cal permite incrementar em até 14 vezes a capacidade de suporte do solo arenoso. A causa do incremento da resistência está relacionada às reações pozolânicas entre a cinza amorfa da cinza de casca de arroz e a cal durante a hidratação da mesma. A estabilização do solo arenoso com cinza de casca de arroz e cal podem permitir o refinamento do colchão de areia utilizado no assentamento do pavimento intertravado e, possivelmente, permitiriam o uso do solo em camadas de sub-base e base de pavimentos asfálticos e de concreto Portland. Os resultados da pesquisa mostram, também, que o uso da cinza de casca de arroz, em conjunto com a cal, na estabilização de solos arenosos é uma alternativa técnica e ambientalmente viável e correta. O reaproveitamento deste resíduo agrícola nas regiões produtoras de arroz pode contribuir para a preservação do meio ambiente e, eventualmente, reduzir o volume de agregados virgens a serem extraídos de jazidas com a finalidade de construção de estruturas de pavimentos.

**Palavras-chave:** Solo arenoso; Cinza de casca de arroz; Cal; Estabilização de solos; Reaproveitamento de resíduo agrícola.

### **INTRODUÇÃO**

Devido ao aumento da demanda por agregados naturais, os quais são insumos importantes na construção de estradas, um tema que está sendo bastante discutido no mundo todo é o uso de materiais alternativos em pavimentação, que além de reduzir os impactos naturais gerados por diversos tipos de resíduos permitem, 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 apresentem 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.

De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, o Brasil está em nono lugar entre os países consumidores de arroz, sendo os maiores produtores nacionais 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: a casca de arroz. Este resíduo, por ser um material fibroso, é de difícil degradação e as suas características permanecem 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 1.000 kg de arroz produzem cerca de 200kg de casca, cuja a combustão gera 40kg de cinza. 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.

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. 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).

Os solos arenosos, geralmente utilizados como camada de sub-base dos pavimentos intertravados, são solos granulares não coesivos e apresentam boa capacidade de suporte. No entanto, a capacidade de suporte de tais solos pode ser melhorada com o uso de cimento Portland, o qual permite a formação de silicato de cálcio hidratado fornecendo resistência e estabilidade ao solo. A melhora da capacidade de suporte do solo permite incrementar a resistência do pavimento intertravado às cargas aplicadas pelo passo dos veículos. O uso de cimento Portland, no entanto, implica em altos custos construtivos que muitas vezes não podem ser assumidos pelos usuários. Uma alternativa para o uso do cimento Portland seria o uso de cal e cinza de casca de arroz. A cinza, rica em sílica poderia reagir adequadamente com a cal e a água de hidratação permitindo a formação de silicato de cálcio hidratado resultando em uma alternativa técnica e economicamente viável. O reaproveitamento deste resíduo agrícola nas regiões produtoras de arroz pode contribuir para a preservação do meio ambiente e,

eventualmente, reduzir o volume de agregados virgens a serem extraídos de jazidas com a finalidade de construção de estruturas de pavimentos.

## OBJETIVO

Avaliar a influência da adição de cinza de casca de arroz e da cal na capacidade de suporte de um solo arenoso.

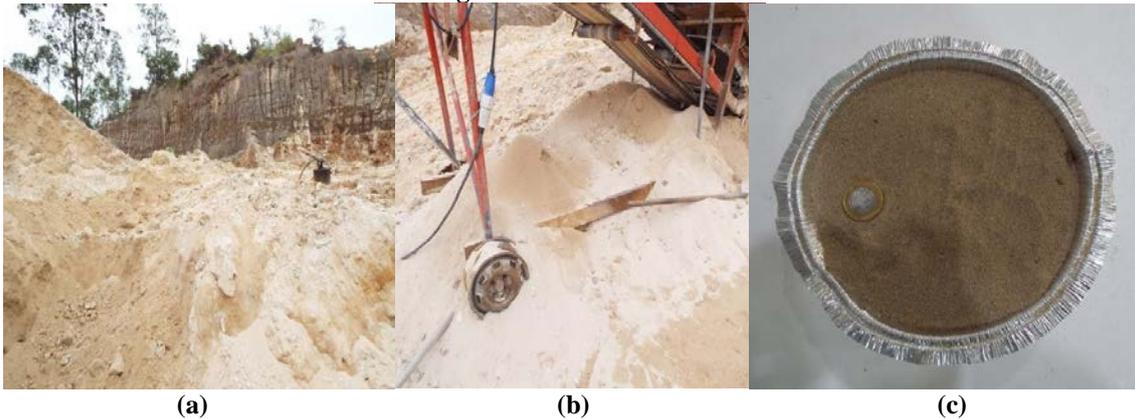
## METODOLOGIA

### Materiais

#### Solo arenoso

O solo arenoso utilizado na pesquisa foi coletado numa jazida de solo explorada no município de Siderópolis, região sul do estado de Santa Catarina. O solo areno é extraído de morros (Figura 1a) e peneirado em uma máquina para limpeza das impurezas do local (Figura 1b), 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 1c).

**Figura 13: Solo arenoso.**



(a)

(b)

(c)

Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Solo no estado natural.

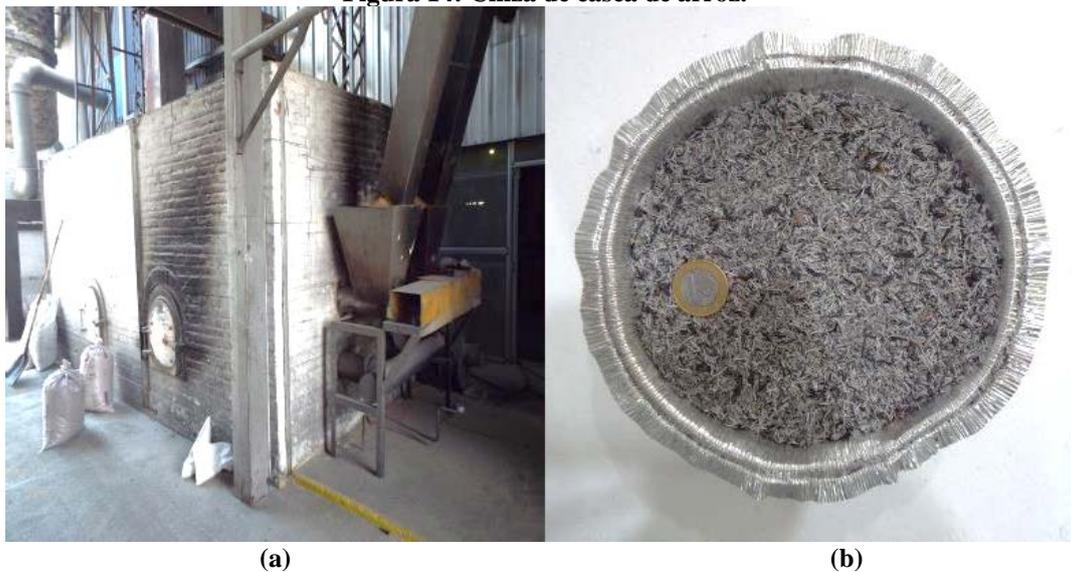
b) Solo após peneiramento para venda.

c) Solo seco em estufa.

### Cinza da casca de arroz

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 de queima sem temperatura controlada (Figura 2a), que fazem a queima da casca de arroz para parbolização do cereal. Para esta pesquisa será utilizada a cinza de casca de arroz no estado em que ela foi coletada, *in natura*, (Figura 2b).

Figura 14: Cinza de casca de arroz.



(a)

(b)

Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Forno para queima da casca de arroz.

b) Cinza de casca de arroz *in natura*.

## 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 (Figura 3).

Figura 15: Cal.



(a)

(b)

Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Cal no embalagem de venda.

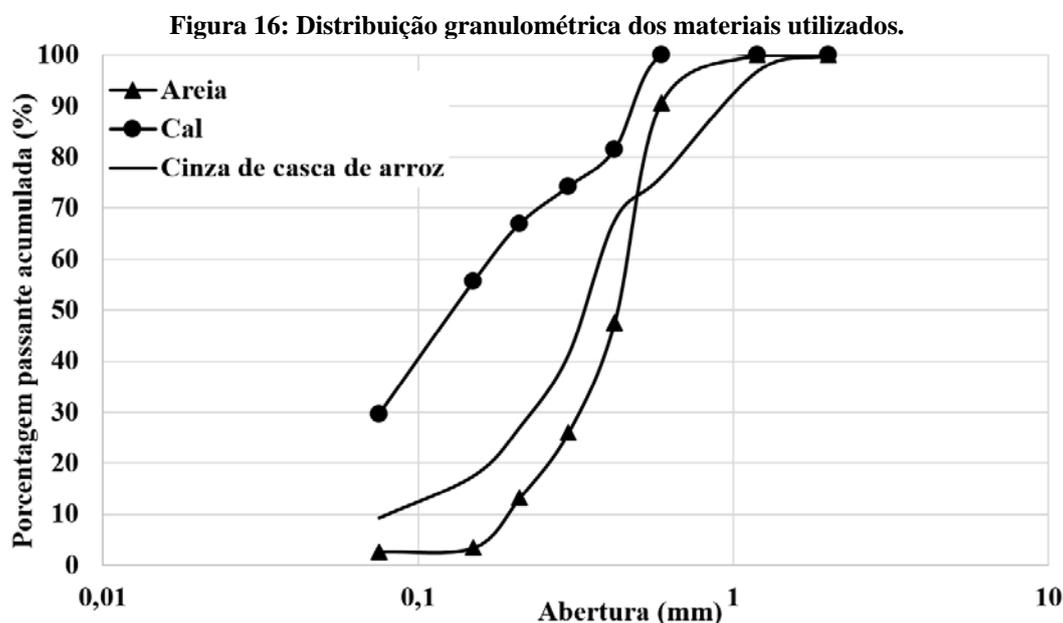
b) Cal selecionada para estudo.

## Métodos

### Granulometria dos materiais utilizados

A análise granulométrica do solo arenoso, da cinza da casca de arroz e da cal, foi realizada de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 2016) e é mostrada na Figura 4. Na Figura, pode se observar que a distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz se apresenta como intermediária entre o solo arenoso e a cal. A concentração de material fino, passante na peneira #200 com abertura de 0,075 mm, é de aproximadamente 10%. Esta alta concentração de material fino poderá favorecer as

reações pozolânicas e a formação de silicato de cálcio hidratado quando em contato com a cal e a água.



Fonte: O autor (2015)

### Dosagem e Mistura

Na presente pesquisa foram estudadas duas combinações de teores de cinza de casca de arroz e cal; em ambas, procurou-se manter o teor de cinza constante e modificar somente o teor de cal. As duas combinações foram compactadas sob duas energias de compactação de Proctor: normal e modificada. Adicionalmente, foi estudado o comportamento do solo arenoso sem adição de cinza nem cal, também compactado sob as duas energias de compactação mencionadas. Desta forma, foram estudadas seis amostras no total. A Tabela 1 apresenta a denominação de cada amostra, a porcentagem de materiais e a energia de compactação utilizada em cada amostra. Para realizar as dosagens em laboratório, o solo arenoso e a cinza foram secos em estufa. A cal ficou no próprio saco plástico da embalagem de compra, e foi utilizada da forma como é comercializada. Os teores de cinza 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.

**Tabela 7: Misturas estudadas na presente pesquisa.**

Denominação	Porcentagem de material usado na dosagem (%)			Energia de compactação de Proctor
	Areia	Cinza de casca de arroz	Cal	
Areia-N	100	-	-	Normal
Areia-M	100	-	-	Modificada
15-5-N	80	15	5	Normal
15-5-M	80	15	5	Modificada
15-10-N	75	15	10	Normal
15-10-M	75	15	10	Modificada

Fonte: O autor (2015)

### Ensaio de compactação

O ensaio de compactação (Figura 5) tem como finalidade determinar o teor ótimo de umidade para o qual a amostra estudada atingiria o valor de massa específica

seca máxima. Devido à variabilidade na composição das amostras e às energias de compactação utilizadas, espera-se que o teor de umidade ótima seja diferente para cada amostra. Para a energia de compactação Proctor Normal, foram executadas três camadas de material no cilindro com capacidade de 1000 cm<sup>3</sup>, com 12 golpes por camada com o soquete de 2500 g de massa. Já para a energia de compactação Proctor Modificada as amostras foram compactadas em cinco camadas no cilindro com capacidade de 1000 cm<sup>3</sup>, com 27 golpes com o soquete de 4536g de massa. O ensaio de compactação foi realizado conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 2016). Os resultados de umidade ótima e massa específica seca máxima determinados foram, posteriormente, utilizados para a moldagem dos corpos de prova para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

**Figura 17: Ensaio de compactação.**



Fonte: O autor (2015)

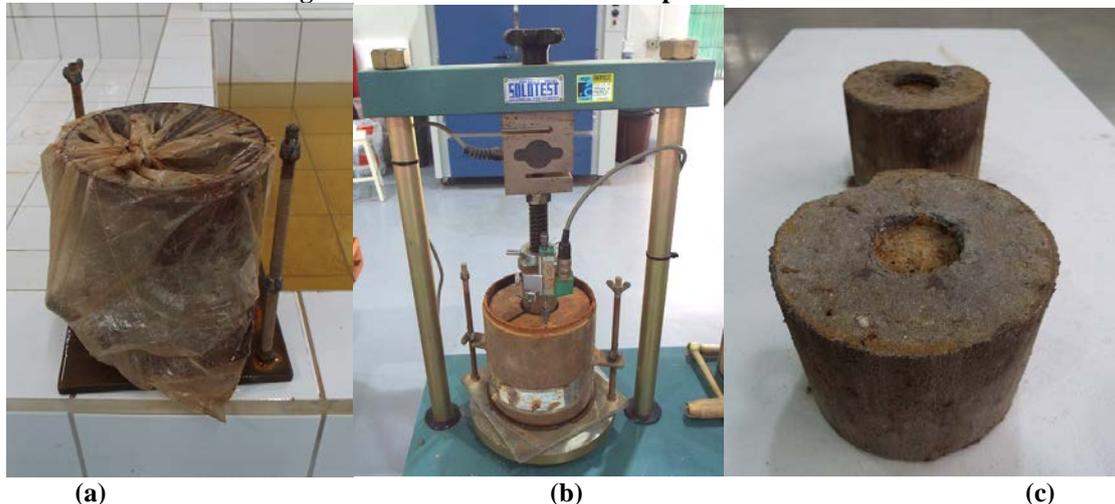
### **Ensaio de Índice de Suporte Califórnia**

O Índice de Suporte Califórnia 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. Quanto maior o valor do Índice de Suporte Califórnia melhor será a capacidade de suporte do material e a resistência dos mesmos aos esforços aplicados pelas cargas dos veículos. Para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (Figura 6) as amostras foram moldadas na energia de Proctor Normal e Proctor Modificada. A umidade das amostras para moldagem dos corpos de prova para este ensaio foi a mesma determinada a partir do ensaio de compactação. Após moldagem e compactação dos corpos de provas das amostras estudadas as mesmas foram ensacadas para permitir a hidratação da cal junto à cinza de casca de arroz, fornecendo as condições necessárias para a ocorrência das reações pozolânicas destes materiais. As amostras foram retiradas dos sacos plásticos após 3, 14 e 28 dias para realização do ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

As amostras compostas unicamente por solo arenoso, devido a não possuírem cinza de casca de arroz nem cal, foram ensaiadas somente aos 3 dias de idade. As amostras compostas por cinza e cal foram ensaiadas aos 3, 14 e 28 dias de idades 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 largo 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). O ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi realizado segundo a norma NBR 9895 (ABNT, 2016).

**Figura 18: Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.**



Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Corpo de prova ensacado.

b) Ensaio em andamento.

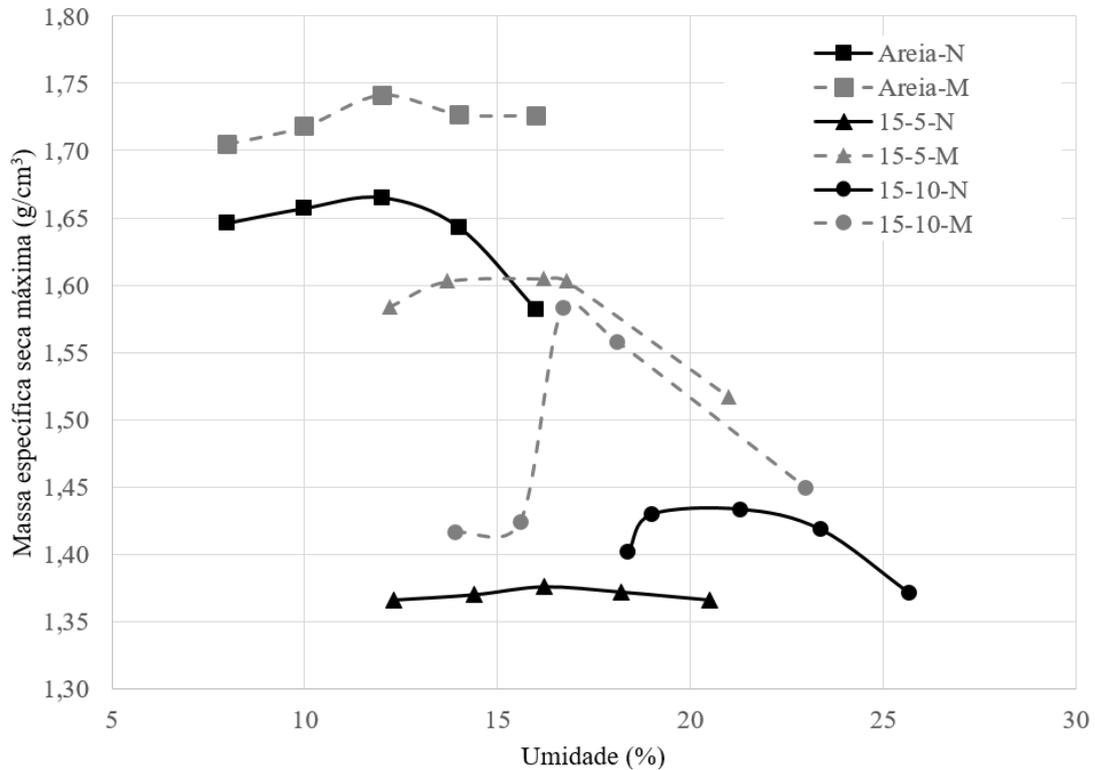
c) Corpos de prova após ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio de Compactação

A Figura 7 mostra as curvas de compactação de todas as amostras estudadas. O valor da massa específica seca máxima e o teor ótimo de umidade determinado para cada amostra são mostrados na Tabela 2. Os dados da Tabela 2 mostram que a adição de cinza de casca de arroz e cal diminui a massa específica seca e aumenta o teor ótimo de umidade das amostras estudadas, em comparação com as amostras de solo arenoso sem adições. Ao respeito Ali, Adnan e Choy (1992) comentam que a queda da massa específica aparente seca na mistura é devida à soma das baixas densidades reais dos grãos da cinza de casca de arroz e da cal, sendo que não houve tempo suficiente para desenvolverem-se as reações pozolânicas. Já Zhang, Lastra e Malhorta (1996) indica que parte da água acrescentada à mistura é absorvida pela cinza de casca de arroz, 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. Desta forma, quanto maior a quantidade de água presente nas amostras menor será a quantidade de elementos sólidos nas mesmas, causando a diminuição progressiva da massa específica seca.

**Figura 19: Curva de compactação das amostras estudadas.**



Fonte: O autor (2015)

**Tabela 8: Massa específica seca máxima e umidade ótima das amostras estudadas.**

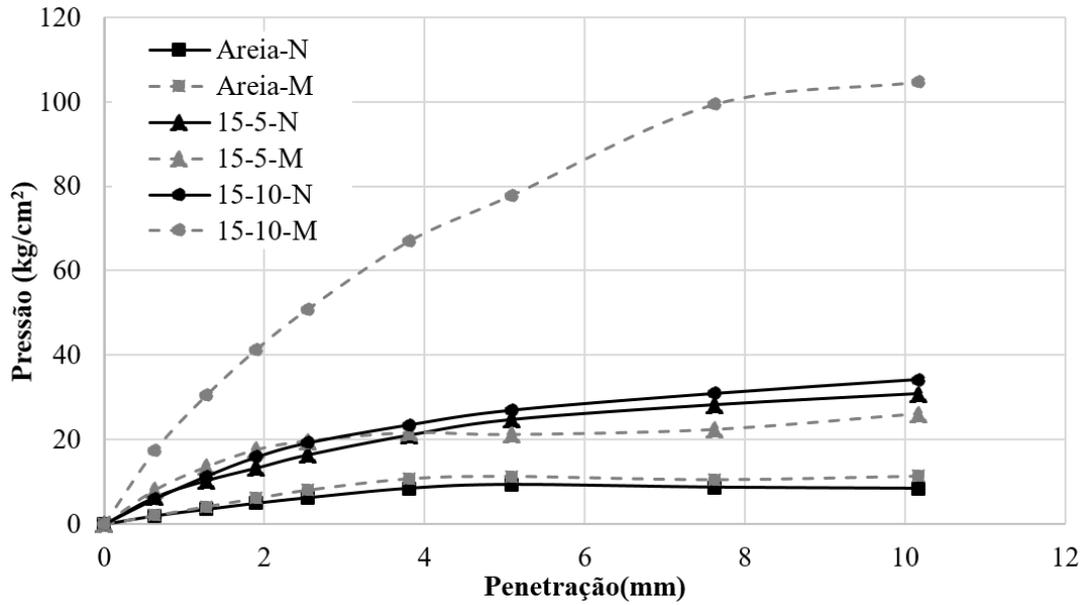
Denominação	Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Teor ótimo de umidade (%)
Areia-N	1,666	12,24
Areia-M	1,741	11,53
15-5-N	1,376	16,50
15-5-M	1,606	15,26
15-10-N	1,434	20,61
15-10-M	1,605	17,25

Fonte: O autor (2015)

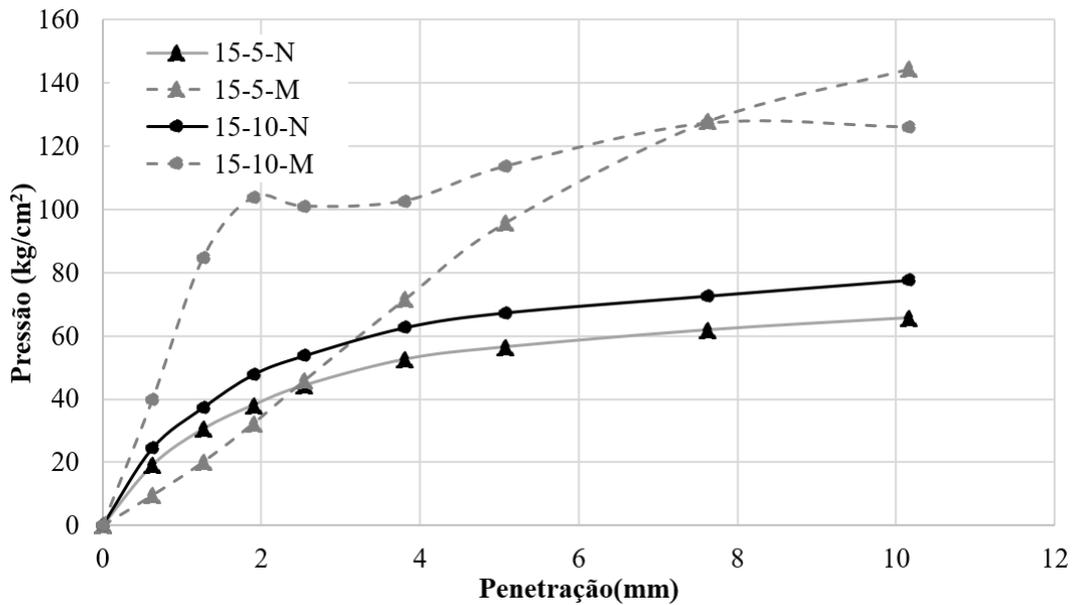
A energia de compactação influi, também, nos resultados mostrados na Tabela 2. Quanto maior é a energia de compactação, energia Modificada, maior é a massa específica seca e menor o teor ótimo de umidade. Este comportamento está associado à maior quantidade de ar que é expulso dos vazios das amostras devido ao aumento do número de golpes necessários para a compactação das amostras. Da mesma forma, uma menor quantidade de ar nas amostras estará relacionada com menores quantidade de água fatíveis de preencherem esses vazios durante o ensaio de compactação.

### Índice de Suporte Califórnia

A Figura 8 mostra as curvas de pressão-penetração para os corpos de prova ensaiados aos três dias de cura. A Figura 9 e a Figura 10 mostram as curvas para os corpos de prova ensaiados aos 14 e 28 dias de cura, respectivamente.

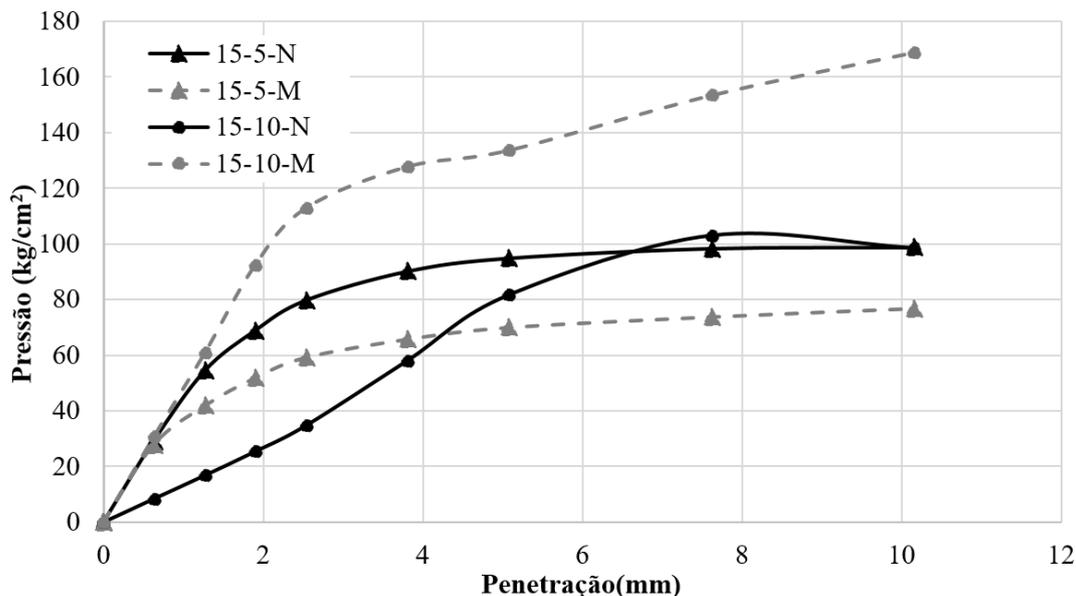
**Figura 20: Curvas pressão-penetração aos três dias de cura.**

Fonte: O autor (2015)

**Figura 21: Curvas pressão-penetração aos 14 dias de cura.**

Fonte: O autor (2015)

**Figura 22: Curvas pressão-penetração aos 28 dias de cura**



Fonte: O autor (2015)

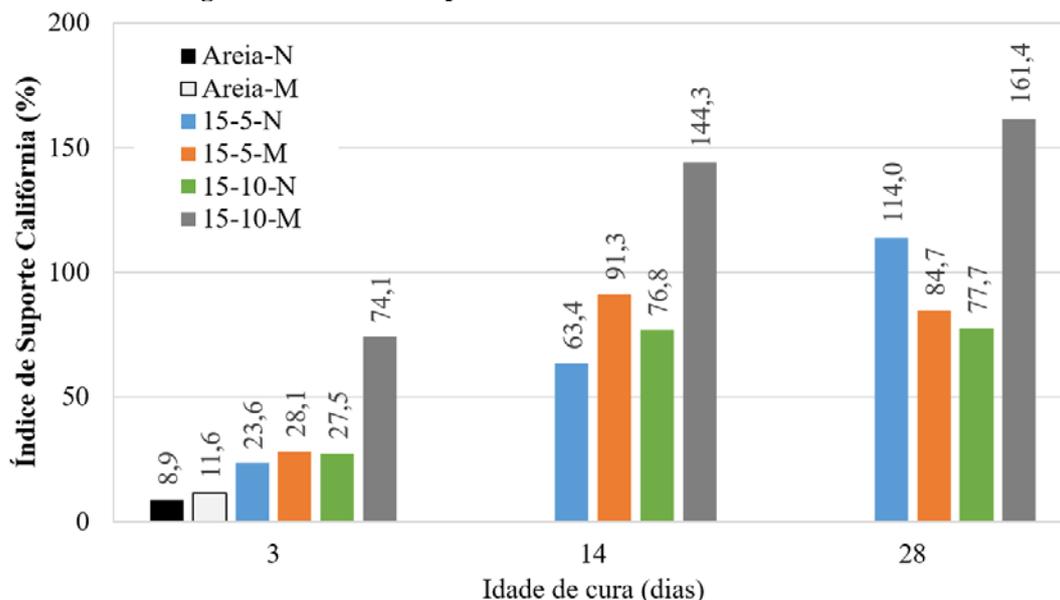
Em todas as Figuras pode-se observar uma relação proporcional entre a quantidade de cal adicionada e a energia de compactação. Para todos os casos, a resistência à penetração foi maior para as amostras compostas por 15% de cinza de casca de arroz, 10% de cal e compactadas com energia de Proctor Modificada. Desta forma, a porcentagem de 10% de cal seria a ideal para ser adicionada ao solo arenoso para que o mesmo atinja uma resistência elevada.

A Figura 11 mostra os valores do Índice de Suporte Califórnia, calculados para cada uma das amostras ensaiadas. Os resultados indicam que a mistura 15-10-M obteve os maiores valores de capacidade de suporte para todas as idades avaliadas. Este fato pode estar relacionado com a alta porcentagem de cal presente na mistura, 10%, e a alta energia de compactação utilizada na moldagem desta mistura, Proctor Modificada. Para a idade de cura de 28 dias, o valor do Índice de Suporte Califórnia desta mistura é, aproximadamente, 14 vezes maior ao da amostra de solo arenoso sem adições moldada com energia de Proctor Modificada.

Todas as amostras tiveram desempenho superior ao das amostras moldadas com solo arenoso e sem adições, independente da energia utilizada na moldagem nem da idade de cura. No entanto, percebe-se que o incremento da capacidade de suporte das misturas 15-10-M e 15-5-M não tem uma tendência definida. Este detalhe pode estar relacionado a perdas da umidade dos corpos de prova durante o seu armazenamento.

O incremento da capacidade de suporte do solo arenoso estudado é significativo e a causa está relacionada às reações pozolânicas entre a sílica amorfa da cinza de casca de arroz e a cal as quais melhoram a resistência do solo estabilizado. O efeito de filler da cinza e da cal acrescentados ao solo, atuando como finos que preenchem os vazios entre os grãos de areia, geram a correção granulométrica do solo, sendo mais outra causa possível do aumento da capacidade de suporte das misturas estudadas.

**Figura 23: Índice de Suporte Califórnia das misturas estudadas.**



Fonte: O autor (2015)

O Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006) define os valores mínimos de Índice de Suporte Califórnia dos materiais a serem utilizados em camadas de sub-base, mínimo de 20%, e base, mínimo de 60%, de pavimentos asfálticos. Considerando os resultados obtidos no presente estudo, poderíamos afirmar que o solo arenoso sem adições não poderia ser utilizado como camada de sub-base nem de base, enquanto que a adição de 15% de cinza de casca de arroz e 5% ou 10% de cal permitiriam o uso deste material como camada de sub-base de pavimentos asfálticos, considerando um período de cura de 3 dias. Após 28 dias de cura, todas as amostras com adições poderiam ser utilizadas para compor camadas de base de pavimentos asfálticos.

Este incremento na capacidade de suporte permitiria, em campo, a diminuição da espessura do colchão de areia utilizado para o assentamento do pavimento intertravado. As adições de cinza de casca de arroz e cal, podem permitir a utilização do solo arenoso como camadas de sub-base e base de pavimentos asfálticos e, possivelmente, o uso deste material para compor sub-base de pavimentos de concreto Portland.

Embora estudos adicionais sejam necessários para comprovar esta hipótese, os dados da presente pesquisa permitem verificar a viabilidade técnica do uso da cinza de casca de arroz na composição de camadas de pavimentos. Permitindo, desta forma, o reaproveitamento deste resíduo agrícola em áreas produtoras do cereal tanto para construção de pavimentos intertravados quanto, possivelmente, construção de pavimentos asfálticos ou de concreto Portland.

## CONCLUSÕES

- A adição de cinza de casca de arroz e de cal causa um incremento significativo do Índice de Suporte Califórnia do solo arenoso estudado. A causa do incremento da resistência está relacionada às reações pozolânicas entre a cinza amorfa da cinza de casca de arroz e a cal.
- A estabilização do solo arenoso com cinza de casca de arroz e cal podem permitir o refinamento da espessura do colchão de areia utilizado no

assentamento do pavimento intertravado e, possivelmente, permitiriam o uso do solo em camadas de sub-base e base de pavimentos asfálticos e de concreto Portland.

- O uso da cinza de casca de arroz, em conjunto com a cal, na estabilização de solos arenosos é uma alternativa técnica e ambientalmente viável e correta. O reaproveitamento deste resíduo agrícola nas regiões produtoras de arroz pode contribuir para a preservação do meio ambiente e, eventualmente, reduzir o volume de agregados virgens a serem extraídos de jazidas com a finalidade de construção de estruturas de pavimentos.

## 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, p. 117-134, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

BEHAK, L. **Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e cal**. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

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

LACERDA, D. M. **Análise mecânica pelo método Marshall em misturas asfálticas com agregados reciclados**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2011.

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**. 166 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

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

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

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), p. 963-977, 1996.