

Melhoramento de solos com pó de vidro e cal para fins de pavimentação rodoviária

Soil improvement with glass powder and lime for road paving purposes

RESUMO

As rodovias sofrem grande solitação mecânica por conta do tráfego pesado e constante. Tradicionalmente esta resistência mecânica é oferecida por misturas de solo, cal e cimento Portland, porém, por conta dos altos custos e dos impactos ambientais, tem-se buscado alternativas como os resíduos. Uma das alternativas é o pó de vidro. A utilização do pó de vidro em base e sub-base juntamente com o solo úmido e cal resulta em reações químicas, semelhantes às que ocorrem com o cimento Portland em contato com a água, contribuindo para a resistência mecânica do solo. Como forma de estudos sobre o comportamento mecânico das misturas, corpos de prova foram submetidos a ensaios de compactação simples e diametral. Nos resultados dos ensaios observa-se um aumento de resistência mecânica com o acréscimo de cal e pó de vidro na amostra. Portanto, a adição de cal e pó de vidro oferecem um aumento na resistência mecânica do solo, o que é uma necessidade quando se trata de base para pavimentação rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de vidro. Mecânica do solo. Pavimentação.

ABSTRACT

Highways are heavily mechanically stressed by heavy and constant traffic. Traditionally this mechanical resistance is offered by mixtures of soil, lime and Portland cement, however, because of the high costs and environmental impacts that they might cause, alternatives such as the reuse of some sorts of waste have been sought. One of the alternatives is glass powder. The use of glass powder in base and sub-base together with moist soil and lime results in chemical reactions, similar to those that occur with Portland cement in contact with water, contributing to the mechanical resistance of the soil. The analysis of the mechanical behavior of several mixtures was made using specimens that were subjected to simple and diametrical compaction tests. The results of the tests show an increase in mechanical strength with the addition of lime and glass powder in the sample. Therefore, the addition of lime and glass powder offers an increase in the mechanical resistance of the soil, which is a necessity when it comes to the base for road paving.

KEYWORDS: Waste glass. Soil engineering. Paving.

Nicole Graeff Farias

nicolefarias@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Mirian Dayane Pereira

mirianpereira@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Dr. Ronaldo Luís dos Santos Izzo

izzo@utfpr.edu.br

Professor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

As rodovias sofrem grande solicitação mecânica por conta do tráfego pesado e constante. A pavimentação rodoviária é formada por uma série de camadas de diversos materiais e, entre eles, se encontram materiais que promovem a resistência mecânica deste sistema. Tradicionalmente esta resistência mecânica é oferecida por misturas de solo, cal e cimento Portland, porém, por conta dos altos custos e dos impactos ambientais, tem-se buscado alternativas para a estabilização dos solos, como por exemplo os resíduos (cinzas, pó de vidro, etc).

A cal em contato com o solo úmido passa por diversas reações. A mais imediata é a neutralização do PH do solo, possibilitando a troca dos cátions do solo pelos íons de cálcio da cal. Esta é a reação mais importante, caracterizada como reação de cimentação. As reações de cimentação possuem como resultado a formação de novos materiais com uma resistência mecânica elevada, por isso a Cal é amplamente utilizada na estabilização de solos.

O processo de produção de vidro ocorre em altas temperaturas com a mistura de diversas matérias primas. Portanto a produção de uma peça de vidro demanda de elevado gasto energético e, conseqüentemente, há grande liberação de gases nocivos ao meio ambiente. Muitos países realizam a reciclagem do vidro, mas a produção de novas peças apenas com o vidro reciclado é inviável por conta das condições de altas temperaturas. Segundo a ABIVIDRO, a adição de 10% de vidro em diferentes alternativas provoca uma diminuição de 5% de consumo de gás carbônico. Uma vez o pó de vidro adicionado ao solo úmido, juntamente com a cal, ele irá resultar em reações químicas, semelhantes às que ocorrem com o cimento Portland em contato com a água, contribuindo para a resistência mecânica do solo.

METODOLOGIA

CURVA DE COMPACTAÇÃO

A curva de compactação foi realizada conforme a Norma NBR 7182. Os resultados obtidos são plotados em um gráfico $w \times \gamma_d$, onde podemos encontrar os valores do peso específico seco máximo e o teor de umidade ótimo do solo. Com essas informações tem-se a equação que determinará as quantidades para a mistura de cada traço da análise.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Conforme a Norma ABNT NBR-6457, a primeira etapa para a preparação das amostras é a secagem à 60°C, o destorroamento e o peneiramento. Visando a melhor interação entre o solo e a Cal, optou-se pela peneira nº 8, pela menor granulometria, ao invés da peneira de nº 10.

A amostra separada foi de 1500 g para a preparação de 6 corpos de provas e com base nos dados obtidos no ensaio de Proctor, obtiveram-se as quantidades de água para a umidade ótima do solo. Para cada traço variou-se a quantidade de cal

e pó de vidro para as futuras análises. A composição de cada traço está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Traço de cada amostra a ser analisada

Traço	Quantidades
1	Solo
2	Solo + 3% Cal
3	Solo + 7% Cal
4	Solo + 10% Cal
5	Solo + 3% Cal + 5% Pó de Vidro
6	Solo + 7% Cal + 5% Pó de Vidro
7	Solo + 10% Cal + 5% Pó de Vidro

Fonte: Autoria própria (2020).

Os corpos de prova foram moldados em tamanho de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura em três camadas com o auxílio de um cilindro. O tempo de cura úmida para os cp's será de 7, 28 e 90 dias.

RESULTADOS

Até o presente momento, os resultados obtidos correspondem aos cp's de 7 dias. Os corpos de prova de 28 e 90 dias se encontram em período de cura na câmara úmida. Após os 6 cp's de cada traço ficarem 7 dias na câmara úmida, eles foram pesados, medidos e levados para os ensaios.

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio de compressão diametral pode ser observado na Figura 1 e ocorreu sem maiores dificuldades.

Figura 1 – Ensaio de compressão simples



Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados de cada traço estão dispostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultado do ensaio de compressão simples do solo

Traços	Corpo de prova	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)
SOLO	1	23,22	24,53
	2	24,56	
	3	25,81	
Solo + 3% de Cal	1	19,29	25,30
	2	28,27	
	3	28,33	
Solo + 7% de Cal	1	63,15	69,19
	2	55,48	
	3	88,93	
Solo + 10% de Cal	1	119,14	128,58
	2	134,25	
	3	132,35	
Solo + 3% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	26,97	27,83
	2	30,78	
	3	25,75	
Solo + 7% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	103,26	103,14
	2	98,00	
	3	108,15	
Solo + 10% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	133,82	139,44
	2	163,83	
	3	120,67	

Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 2 pode se observar o padrão de rompimento dos corpos de prova a compressão simples. A ruptura tende a ser perpendicular ao plano de aplicação de carga e centralizada no corpo de prova.

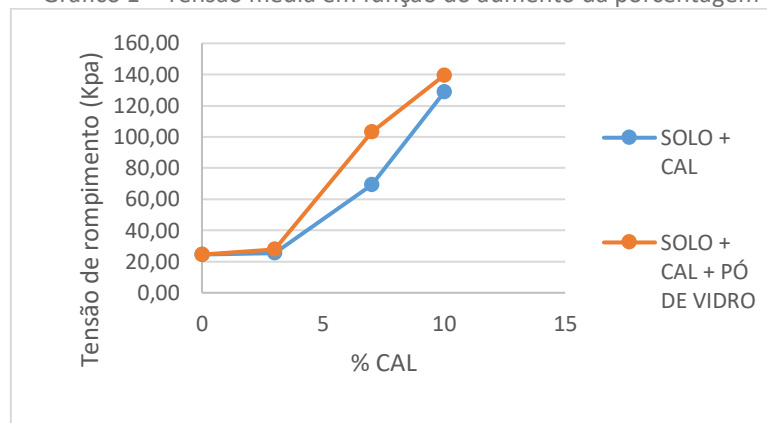
Figura 2 – Cp após rompimento no ensaio de compressão simples



Fonte: Autoria própria (2020).

Como esperado, as amostras contendo pó de vidro na composição possuem melhor desempenho àquelas que são compostas apenas de solo e cal. No Gráfico 1 se observam os valores da tensão média conforme o aumento de cal na composição da mistura.

Gráfico 1 – Tensão média em função do aumento da porcentagem de cal.



Fonte: Autoria própria (2020).

ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de compressão diametral pode ser observado na Figura 3 e ocorreu sem maiores dificuldades.

Figura 3 – Ensaio de compressão diametral



Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados de cada traço estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultado do ensaio de compressão simples do solo

Traço	Corpo de prova	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)
SOLO	1	25,67	37,21
	2	37,22	
	3	48,73	
Solo + 3% de Cal	1	40,94	43,13
	2	43,65	
	3	44,79	
Solo + 7% de Cal	1	148,95	24,53
	2	153,46	
	3	151,85	

Traço	Corpo de prova	Tensão (kPa)	Tensão Média (kPa)
Solo + 10% de Cal	1	211,39	205,47
	2	204,57	
	3	200,46	
Solo + 3% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	52,67	42,78
	2	50,01	
	3	25,67	
Solo + 7% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	143,06	158,85
	2	169,53	
	3	163,97	
Solo + 10% de Cal + 5% de Pó de Vidro	1	256,53	255,79
	2	249,49	
	3	261,35	

Fonte: Autoria própria (2020).

Pode-se observar na Figura 4 como ocorre o rompimento dos corpos de prova suscetíveis ao ensaio de compressão diametral. A ruptura tende a ser paralela ao plano de aplicação de carga e centralizada no corpo de prova.

Figura 4 – Corpo de prova após ensaio de compressão diametral.

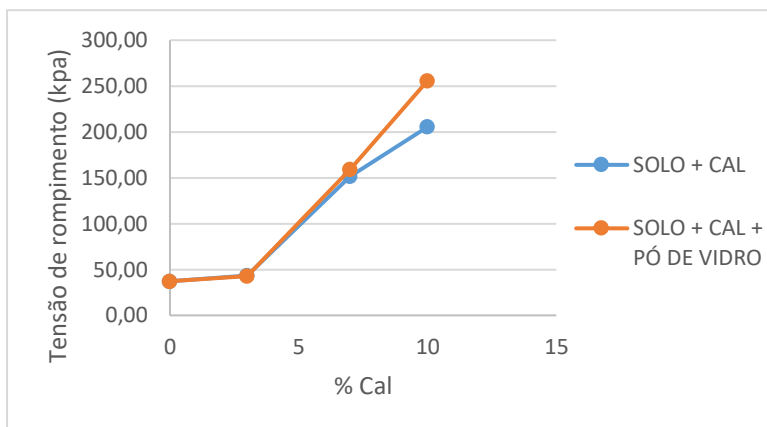


Fonte: Autoria própria (2020).

Assim como nos ensaios de compressão simples, observa-se que o aumento da proporção de cal e de pó de vidro gera um ganho considerável de resistência mecânica no solo nos ensaios de compressão diametral. Observa-se no Gráfico 2 os valores da tensão média conforme o aumento de cal na composição da mistura.

Como pode-se observar na comparação dos resultados dispostos no Quadro 3, as amostras que contêm pó de vidro na composição possuem um melhor desempenho àquelas que não contêm pó de vidro na composição e possuem o mesmo teor de cal.

Gráfico 4 - Tensão média de rompimento das amostras conforme a quantidade de cal



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Os resultados foram avaliados com base na análise das amostras que ficaram 7 dias em cura na câmara úmida. Nos resultados do ensaio de compressão simples observa-se um aumento de resistência mecânica com o acréscimo de cal e pó de vidro na amostra. A resistência mecânica da amostra com maior concentração de cal (10%) foi de 737,63% em relação a amostra de solo. Já a amostra com a maior concentração de cal e pó de vidro (10% e 5%, respectivamente) obteve-se um aumento de 942,74% de resistência mecânica em relação ao solo. E ainda, pode-se observar um aumento de 8,45% de resistência mecânica entre a amostra com 10% de cal e a amostra de 10% de cal + 5% de pó de vidro.

No ensaio de compressão diametral, o comportamento dos resultados é equivalente aos observados no ensaio de compressão simples. Em relação ao solo, houve um aumento de 452,19% e 587,42% em relação as amostras de 10% de cal e 10% cal + 5% pó de vidro, respectivamente. Já na comparação entre as amostras contendo apenas cal e cal + pó de vidro o ganho de resistência foi de 24,5%, maior que o aumento apresentado no ensaio de compressão simples.

Portanto, a adição de cal e pó de vidro oferece um aumento na resistência mecânica do solo, o que é uma necessidade quando se trata de base para pavimentação rodoviária. O pó de vidro provou-se como uma boa alternativa para a substituição do cimento Portland, quando utilizado no solo, visando o aumento da resistência para servir de base em obras de pavimentação, viabilizando custos e diminuindo impactos na natureza.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

REFERÊNCIAS

JAINES, Lorrán. ARNS, Pedro. **Estabilização de um solo com cinza da casca de arroz para a utilização em camadas de pavimento**. UNESC (Universidade do Extremo Sul Catarinense). 2017. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4990/1/LorranJaines.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2020

FILHO, Hugo C. S. **Estabilização de um solo dispersivo com pó de vidro moído e cal de carbureto**. UFRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/194336>. Acesso em: 3 jun. 2020.

NUNEZ, P. Washington. **Estabilização físico-química de um solo residual de arenito Botucatu visando seu emprego na pavimentação**. UFRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 1991. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/151325>. Acesso em: 14. jul. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma 419/2019: **Pavimentação – Solo-Cal – Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo – Método de ensaio**. Brasília. 2019

HERRIN, Moreland; MITCHELL, Henry. **Lime-Soil Mixtures**. 40th Annual Meeting of the Highway Research Board. Washington DC. 1961. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/122457>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ABIVIDRO. **Guia Reciclagem do Vidro**. Disponível em: <https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro-Guia-Reciclagem-do-Vidro.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: **Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2020.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Vidro**. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em: 29 jul. 2020.