

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) and was edited by Dr. Norma Patricia López Acosta, Eduardo Martínez Hernández and Alejandra L. Espinosa Santiago. The conference was held in Cancun, Mexico, on November 17-20, 2019.

Determinação da resistência da mistura solo-cimento com a adição de pó de pedra para a possível inserção da camada base para pavimentação

Luana RANGEL MARQUES^{a,1}, Rideci de Jesus DA COSTA FARIAS^b e
Leidiane MORAES GARCIA^c

^a*Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília (UCB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil*

^b*Engenharia Civil, Universidade de Brasília (UNB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil*

^c*Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília (UCB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil*

Resumo. O setor rodoviário é responsável por diversas obras no Brasil e, conseqüentemente, o consumo de várias toneladas de matérias-primas. Entre esses materiais, podemos citar cal e cimento. Esses produtos têm recursos nos depósitos de mineração, além do alto custo econômico. Assim, o campo de mineração está sob grande pressão para encontrar depósitos o mais próximo possível da economia do país. Um dos consumos que cresce o a maioria é o uso de pedras ornamentais para revestimentos de pisos, paredes e bancos. Devido à alta demanda, um significativo aumento do subproduto causado pelo processo de corte das rochas (mármore, granito e quartzito) é gerado nas obras de mármore. Este resíduo não tem disposição adequada com possíveis e sérios impactos ao meio Ambiente. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo utilizar o resíduo de pó de pedra (SPR) gerado no mármore trabalha como parte da mistura solo / cimento para avaliar se a mistura agrega eficiência na resistência e durabilidade nas camadas de base e sub-base dos pavimentos, além disso, analisa os benefícios do secundário matéria na estrada trabalha com possibilidade de melhoria do solo, bem como a viabilidade econômica

Palavras Chave. Pó de Pedra, solo-cimento, resistência.

1. Introdução

Atualmente o consumo de rochas ornamentais vem aumentando cada vez mais no mercado brasileiro. O processo de corte dos blocos de mármore, granito e quartzito, gera-se um subproduto, um resíduo em forma de placas ou lama, onde ocorrem perdas

¹ Luana Rangel Marques, Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília (UCB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil, E-mail: luanar22.marques@gmail.com.2 Rideci de Jesus da Costa Farias, Engenharia Civil, Universidade Brasília (UNB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil, E-mail: rideci.reforsolo@gmail.com.3 Leidiane Moraes Garcia, Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília (UCB), Campus I Águas Claras, Brasília, Brasil, E-mail: leidiane.engenharia@gmail.com.

progressivas do material no processamento do corte, que posteriormente este resíduo terá a sua destinação final em aterros sanitários.

Ademais, ressalte-se a problemática ambiental na destinação do pó de pedra, pois estes, muitas vezes são descartados de forma inadequada em ecossistemas aquáticos (rios, lagos e córregos) e em ecossistemas terrestres (Solo) protegidos pelas leis brasileiras, gerando uma série de impactos significativos ao meio ambiente. Por esse motivo, há interesse nas formas de reciclagem desse material, objetivando economia e sustentabilidade (Oliveira, 2015 [1]).

As inserções de resíduos em camadas de bases nas obras de rodovias são utilizadas para a estabilização dos solos, segundo o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT [2]), a estratificação em questão absorve tensões advindas de carregamentos aplicados e por esse motivo apresenta a parte mais rígida entre a sua formação.

As obras de pavimentação estão presentes em grande parte da construção civil no mundo inteiro. O solo utilizado para esta finalidade em geral apresenta uma baixa eficiência. Atualmente existem vários mecanismos para aumentar a resistência do solo, como por exemplo, a mistura de solo-cimento que conferem uma melhora nas propriedades físicas deste, tornando-o apropriado para o uso de base de pavimentos.

A adição do cimento ao solo é denominada solo-cimento, melhorando as características de resistência e durabilidade, conforme normativos (DNIT [2]). Em contrapartida, esse procedimento encarece o custo na execução de obras, portanto, tem-se a necessidade da procura de novas pesquisas a fim de diminuir a quantidade de cimento por adições de minerais.

A proposta de inserir pó de pedras ornamentais ao solo-cimento visa averiguar a resistência da mistura, bem como a sua durabilidade para fins nas obras geotécnicas, mais especificamente para o uso de base de pavimentação, e ainda sua viabilidade econômica, tendo em vista que será feito o reaproveitamento de resíduos que seriam descartados de forma inadequada ao meio ambiente.

2. Metodologia

Para produção deste artigo, as amostras de solo natural, Pó de Pedra (PP) e a mistura de solo-cimento-PP foram submetidos aos ensaios de acordo com as normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – NBR) e do Departamento Nacional de Estrada e Rodagem (DNER).

Utilizou-se o solo típico das regiões centro-sul do Brasil, o latossolo vermelho-amarelo, que é um solo residual onde cobre grande parte do Distrito Federal. Por tanto, este material foi submetido aos ensaios de caracterização como Granulometria, Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Massa Específica dos Grãos.

Para realização do ensaio de granulometria no solo natural e no pó de pedra, foi recomendado o procedimento de sedimentação com defloculante pela (NBR 7181/1988 [3]). Seguindo aplicação da lei de Stokes, que se baseia na queda das partículas com diferentes velocidades num determinado tempo.

O aditivo utilizado para mistura foi o cimento Portland composto - CII Z32 de todas as obras, produzido pela empresa Tocantins. Na mistura de solo-cimento foi trabalhado conforme a (NBR 12253/1992 [4]). Onde, definiu-se a porcentagem de cimento sugerido para o ensaio de compactação do solo-cimento-PP, no qual se determinou o maior teor de cimento (10%) informado pela norma.

Resíduo utilizado é oriundo da lama do corte das pedras ornamentais. Onde esta lama seca em temperatura ambiente até atingir uma estrutura de Pó muito fina. Logo, este material foi submetido aos ensaios de caracterização como granulometria e Massa Específica pelo método de Chapman.

Em cima dos resultados de caracterização do solo natural e do pó de pedra (PP) se definiu as porcentagens de três traços para as misturas solo-cimento-PP, conforme informado na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de legenda dos traços trabalhados neste artigo.

Amostras	Siglas
Solo Natural	A
Pó de Pedra	B
85% Solo + 5% PP +10% CII F 32	C
80% Solo + 10% PP +10% CII F 32	D
75% Solo + 15% PP +10% CII F 32	E

Sendo assim, os ensaios foram realizados para três traços com variação na porcentagem do resíduo do pó de pedra e solo mantendo o mesmo teor de cimento. Formando as seguintes combinações, variando a adição de 5, 10 e 15% de pó de pedra para 10% de CII F32. Conforme a Tabela 1.

Após a definição dos traços submetem as amostra A, B, C, D e E aos ensaios de Compactação – (NBR 7182/1986 [5]), Equivalente de Areia (DNER-ME 054/97 [7]) e Índice de Suporte Califórnia (CBR) – (NBR 9895/1987 [8]).

O ensaio de compactação/CBR foi conduzido pela energia intermediária em cilindro grande com 5 camadas de 26 golpes e sem reuso de material para os cinco traços especificados na Tabela 1.

3. Resultados e Discussão

Neste item são apresentados os principais resultados obtidos pelo estudo. Inicialmente apresentando os resultados de caracterização do solo e do Pó de Pedra, em seguida os resultados das misturas de compactação, equivalente de areia, e Índice de Suporte Califórnia (CBR) amostras de solo natural, do pó de pedra (PP) e das misturas solo-cimento-PP composto de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT).

3.1. Caracterização da amostra do Solo Natural (A)

A Caracterização da Amostra A foi avaliada de acordo com a norma Rochas e Solos – (NBR 6502/1995 [11]) (Gráfico 2), onde o tamanho das partículas da amostra obteve uma predominância na fração silte com diâmetros compreendidos entre 0,002mm e 0,06mm. Apresentando um solo com características de baixa ou nenhuma plasticidade, e que exibe baixa resistência quanto seca ao ar (Murieta,1994 [9]).

Na Tabela 2, o resultado do Peso específico relativo dos sólidos na amostra A, apresentou um valor de 2,61g/cm³. Conforme (BRAJA, 2014 [10]), o peso específico relativo de alguns minerais comuns encontrados nos solos obtém valores intervalados

entre 2,6 á 2,9g/cm³. Logo, o latosso vermelho-amarelo se enquadra nas características de solos finos como sendo de formação argila e silte de composições inorgânico.

O resultado obtido pelos os limites de Attenberg, indicaram um valor de IP com 7,18% (Tabela 2), de acordo com Caputo (2012), o solo pode ser classificado como medianamente plástico com valores intervalando entre 7 < IP < 15.

Por tanto, o IP é fundamental para o Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS, onde fornece uma previsão do comportamento do solo em relação a algumas propriedades (MURIETA, 1994 [9]). Onde a amostra A teve sua classificação como sendo um silte orgânico e suas misturas com argila de baixa plasticidade.

De acordo com (Murieta 1994 [9]), amostra A apresenta uma compactação de regular a ruim, sendo de compressibilidade e expansão de média a alta; tendo uma drenagem ruim e impermeável; de qualidade ruim a não adequado para camadas de base e subleito em pavimentos.

Por tanto, este solo terá que se submetido a medidas de melhorias do solo para atender os padrões e a viabilidade técnica de uso para camadas de base em obras de pavimentação.

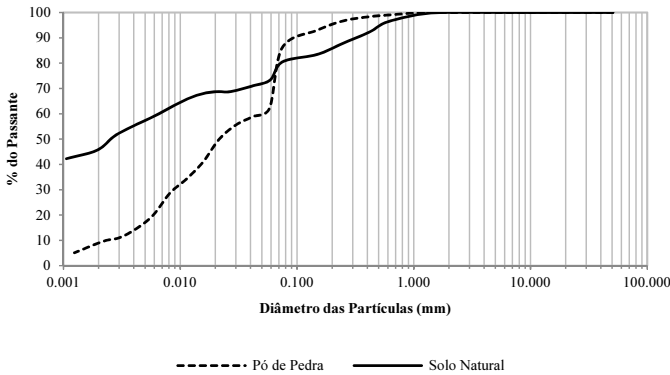


Figura 1. Curvas granulométricas do Solo Natural e do Pó de Pedra.

Tabela 2. Resultados de caracterização do Solo natural e do Pó de pedra.

Amostras	δ (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
A	2,61	43,77	36,59	7,18
B	2,77	-	-	-

3.2. Caracterização da amostra Pó de Pedra (B)

Caracterização da Amostra B também se teve uma avaliação de acordo com a norma Rochas e Solos (NBR 6502/1995 [11]) - (Gráfico 2), onde obteve uma predominância na fração silte com diâmetros compreendidos entre 0,002mm e 0,06mm. Apresentando-se um alto teor de finos (86,2%). Além disso, amostra B não apresentou nenhuma consistência plástica para realização dos limites de Attenberg, por tanto, o resíduo foi classificado como material sem coesão.

Observou-se também, que o peso específico relativo dos sólidos da amostra B apresentou um valor de 2,7g/cm³ (Tabela 2). Logo, o Pó de Pedra e composto de três

tipos de rochas ornamentais como: Mármore de peso específico intervalando entre 2,60 á 3,10g/cm³, o Granito variando de 2,65 á 2,75g/cm³ e Quartzito com variação entre 2,60 á 3,10g/cm³. Por tanto, o residuo apresentou uma média peso específico relativo dos sólidos pelas diferenças de composição mineralógica.

3.3. Análise dos Resultados dos materiais em relação às normas do DNIT

Os Resultados dos ensaios de compactação, Equivalência de Areia (EA) e Índice de Suporte Califórnia (CBR) apresentados na Tabela 3, foram analisados de acordo com as normas de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, [2]). Na Tabela 3 estão sendo apresentados os resultados.

Conforme a normativa do ensaio de compactação (NBR 7182/1986 [5]), foi determinado à umidade ótima e peso específico aparente seco das amostras A, B, C, D e E (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados de Compactação, Equivalência de Areia (EA) e ISC (CBR).

Amostras	w (%)	γ (kN/m ³)	EA (%)	CBR (%)	Expansão (%)
A	29,40	15,10	26,28	49,00	0,79
B	13,17	17,28	13,71	23,08	10,37
C	24,05	14,60	57,31	207,00	0,52
D	24,85	14,60	50,38	235,00	0,59
E	19,36	15,23	45,27	247,00	0,52
Parâmetros para Base (DNIT):			> 30 %	≥ 80%	≤ 0,5%

Através da análise dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se uma variação do teor de umidade ótima em cada traço. Amostra A, foi o que apresentou o maior teor de umidade. Pois o tipo do solo como tamanho das partículas, distribuição da fração granulométrica dos grãos, dimensão das partículas, peso específico relativo dos grãos e quantidade de tipos de minerais presentes na mistura do solo, exercem uma grande influência sobre o peso específico seco máximo e no teor de umidade ótima (BRAJA, 2014 [10]).

A amostra B por apresentar 86,2% de partículas inferiores a 0,076mm, e por não possuir coesão obteve uma curva de compactação bem correlacionada com as curvas de areia. Logo, foi amostra que teve o menor consumo de teores umidade ótima (13,17%), e o peso específico seco de 17,28kN/m³ (superior as outros traços), conforme ilustrado no gráfico 3. Esses fatores físicos podem ter ocorrido devido à tensão capilar na água intersticial que inibe a tendência das partículas do solo de se mover e se dispor numa formação mais compacta (BRAJA, 2007 [12]).

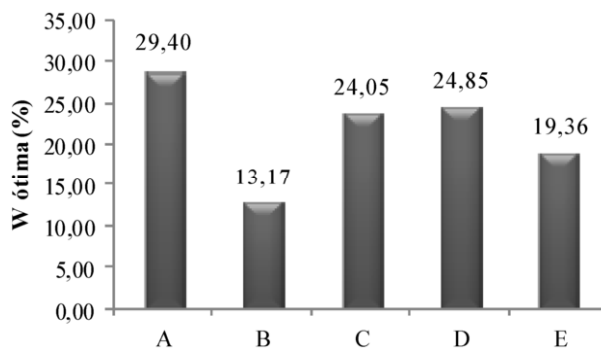


Figura 2. Gráficos de Umidade ótima dos traços A, B, C, D e E.

Já nas amostras C, D e E verificou-se uma oscilação pequena nos teores de umidades. Podendo também ser observado que as amostras C e D tiveram um percentual de umidade ótima similares a 24%, e obtendo o mesmo peso específico seco de $14,60\text{kN/m}^3$, indicando que as porcentagens de 5% a 10% de adição do resíduo de PP não alteram sua relação entre esses dados físicos.

Mas somente a amostra E que teve uma adição de 15% de pó de pedra que obteve uma redução significativa na umidade (19,36%) e um aumento no peso específico seco de $15,23\text{kN/m}^3$. Podendo dar entender que esse teor pode ocasionar uma interação forte na mistura solo-cimento ocasionando uma maior reação química entre água/cimento (a/c) com o pó de pedra.

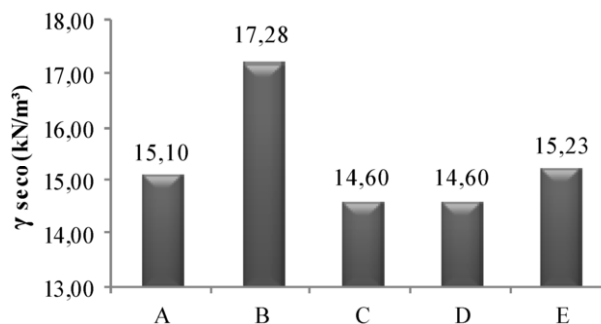


Figura 3. Gráfico do Peso Específico seco dos traços A, B, C, D e E.

Nos resultados de Equivalente de Areia (EA) as amostras A e B (26,28% e 13,71%) apresentaram valores inferiores a 30%. E nas amostras C, D e E indicaram resultados superiores a 30% (Gráfico 4). Conforme o DNIT (2006), amostras que apresentaram $LL < \text{que } 25\%$ e/ou $IP < \text{que } 6\%$ poderá o solo ser usado em base de estabilização, desde de que equivalente de areia seja maior que 30%.

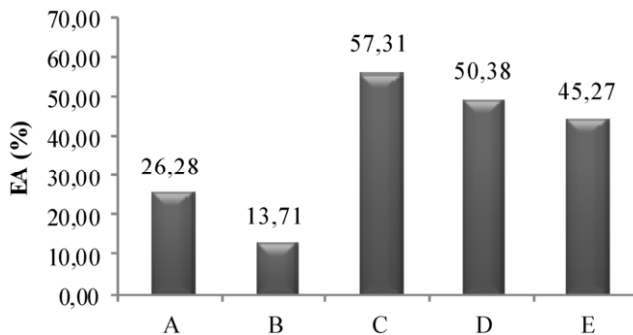


Figura 4. Gráfico de Equivalente de areia dos traços A, B, C, D e E.

Os resultados de expansão dos traços somente três se enquadraram nos parâmetros especificados pelo DNIT. Onde a camada base deverá ter uma expansão menor que 0,5%. Logo, as amostras C, D e E apresentaram valores na margem do especificado no manual de pavimentação Brasileira. As amostras A e B foram extremamente expansivos, justamente por causa do alto teor de silte na estrutura granulométrica.

Os valores do CBR aumentaram significativamente de acordo com o teor de PP acrescentado na mistura solo-cimento, alcançando uma resistência superior a 80% conforme definido pelo DNIT para camada de Base em pavimento semi-rígido. Onde as amostras C, D e E atingiram um CBR entorno de 200%, conforme ilustrado no Gráfico 5.

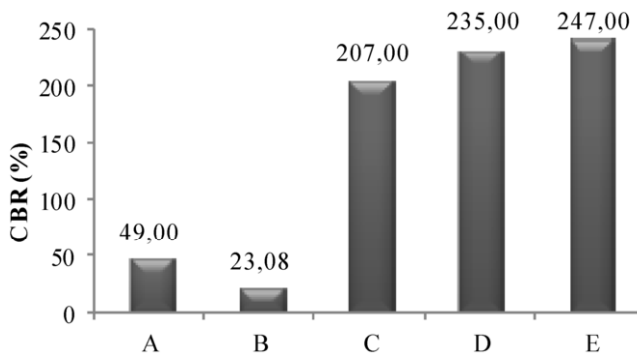


Figura 5. Resultados CBR dos traços A, B, C, D e E.

Os estudos realizados com as misturas foram revelador no aumento de resistência a penetração, o resíduo pó de pedra melhora consideravelmente nas características mecânicas do solo-cimento podendo reduzir o uso de jazidas de solos. E proporcionando também, uma viabilidade econômica visto que o resíduo não possui custo por se tratar de uma matéria secundária da produção do corte das pedras ornamentais.

4. Recomendação

Observou-se que ao adicionar o resíduo PP na mistura de solo-cimento proporcionou um aumento significativo na resistência pelo método do CBR. Chegando a aumentar mais de 160% em relação à resistência do solo, que não chega a atender os parâmetros mínimos de resistência a penetração na camada de base em pavimentos semi-rígido.

Logo as amostras C, D e E atendem os parâmetros determinados pelas normativas de pavimentação, indicando uma viabilidade de uso para obras de geotécnicas em condições laboratoriais.

Para um melhor embasamento desta pesquisa será sugerido para futuras análises à inserção dos ensaios de granulometria e LL e LP para as misturas em suas respectivas porcentagens. E os ensaios de Compressão Axial, Determinação da Durabilidade e Determinação da absorção d'água para todas as amostras trabalhadas neste artigo.

Realizar ensaios utilizando consumos inferiores do aditivo cimento para verificar se o PP manterá sua eficiência na resistência conforme especificados pelas normas brasileiras de pavimentação.

Referências

- [1] L.S. Oliveira, Souza. Reaproveitamento de Resíduos de Marmoraria em Compósitos Cimentícios. São João Del Rei, 2015.
- [2] Manual de Pavimentação. Manuais, DNIT, 3 ed., Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte, Rio de Janeiro, 2006.
- [3] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 7181 - Ensaio de Granulometria, 1988.
- [4] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 12253 – Solo-cimento – Dosagem para o emprego como camada de pavimentação, 1992.
- [5] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 7182 - Ensaio de Compactação, 1986.
- [6] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 7181 - Ensaio de Granulometria, 1988.
- [7] Departamento Nacional de Estrada e Rodagem – DNER-ME 054, Equivalente de Areia, 1997.
- [8] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 9895 – Índice de Suporte Califórnia, 1987.
- [9] S.N. Pedro Murrieta, Mecânica dos Solos I – 1ª parte, Brasília, 1994.
- [10] Das M. Braja, Fundamentos de Engenharia Geotécnica, Cengage Learning – São Paulo, 2014.
- [11] Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). NBR 6502 – Rochas e Solos, 1995.
- [12] M. Das Braja, Fundamentos de Engenharia Geotécnica, Thomson Learning – São Paulo, 2007.