



**Estabilização Granulométrica e Química de
Solo de Estradas Florestais Através do Uso de Cimento**
Granulometric and Chemical Soil Stabilization of Forest Roads Using Cement

Breno Santos Arrivabeni¹; Carlos Cardoso Machado¹;
Cláudio Henrique de Carvalho Silva² & Giovani Levi Sant'Anna²

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Av. Peter Henry Rolfs, S/N, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil

² Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Av. Peter Henry Rolfs, S/N, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil

E-mails: breno.arrivabeni@hotmail.com; carloscardosomachado@terra.com.br; silvac@ufv.br; santannagiovani@yahoo.com.br

Recebido em: 14/05/2018 Aprovado em: 19/07/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_410_415

Resumo

O presente trabalho objetivou analisar a estabilização granulométrica e química de cascalho para estradas florestais através do uso de cimento. A amostra foi analisada segundo as faixas granulométricas do DNIT (2006); referindo-se à sua composição granulométrica natural e quando adicionado cimento Portland CP II E-32 como aditivo químico, no teor de 4% em relação à massa de solo seco. O desenvolvimento desta análise partiu da caracterização do cascalho e em seguida realizou-se os ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia e Resistência à Compressão não Confinada. Os resultados encontrados referentes às análises ISC apresentaram valores superiores a 300%. Para as amostras RCS, estabilizadas com cimento e curadas por sete dias, estes ficaram abaixo do valor de referência. A mudança da energia empregada, de intermediária para modificada, possivelmente poderá solucionar esse problema; sendo uma solução mais adequada quando comparada ao aumento do teor de cimento, visto o custo do mesmo. De todas as formas, esses materiais tratados com cimento apresentaram alta capacidade de suporte e de resistência, indicando um bom comportamento em relação à estabilidade e à erosão, ou seja, reduzida perda de material frente à precipitação.

Palavras-chave: Estabilidade do solo; Índice de Suporte Califórnia; Resistência à Compressão não Confinada

Abstract

This work aimed to analyze the chemical and granulometric stabilization of gravel for forest roads through the use of concrete. The sample was analyzed according to DNIT's (2006) granulometric range; related to its natural granulometric characteristics and also when Portland CP II E-32 concrete is mixed to it as a chemical additive, representing 4% of the dry soil mass. The development of this analysis was based on the gravel characterization followed by the compaction tests, the California Bearing Ratio and Unconfined compressive strength. The results found from the ISC analysis are above 300%. For the RSC tests that were stabilized and cured for seven days, the results were below standards. The change of the applied energy, from intermediate to modified, might be a more suitable solution to this issue compared to the increase in the amount of concrete, due to its cost. Therefore, these materials, when mixed with concrete, present high support and resistance capacity, which indicates good parameters related to stability and erosion, meaning smaller amounts of the material would be lost due to water precipitation.

Keywords: Soil stability; California Bearing Ratio; Unconfined compressive strength

1 Introdução

Diante da problemática de desgaste do solo causado pelo intemperismo, torna-se cada vez mais necessário o conhecimento acerca das propriedades do mesmo e de suas interações para se evitar a erosão. Visto que, além de causar a desestruturação do solo e acarretar a consequente perda de material, a erosão também é sinônimo de entaves em estradas rurais e florestais por poder inviabilizar o tráfego nessas vias. Assim, o uso de intervenções no solo a fim de garantir a estabilidade dos agregados tem papel fundamental na dinâmica rodoviária, seja por técnicas mecânicas, químicas ou granulométricas.

De acordo com Gondim (2008) para escolha adequada do método de estabilização a ser utilizado é importante focar quais as propriedades de solo que precisam ser modificadas e os propósitos aos quais se destinam o processo de estabilização. Tal processo consiste da aplicação de um fator estabilizante ao solo, visando modificar as suas propriedades físicas e mecânicas, tornando-o capaz de atender satisfatoriamente a uma dada exigência prevista em projeto. O fator estabilizante pode ser um aditivo químico, um material granular ou até mesmo a aplicação de uma energia dinâmica.

A estabilização mecânica engloba procedimentos e técnicas as quais mudam o arranjo entre as partículas do solo ou sua granulometria. O processo de compactação pode deste modo ser entendido como uma técnica de estabilização mecânica, pois reestrutura o solo por meio da expulsão de ar dos espaços vazios, dando ao solo um novo rearranjo em sua estrutura (Gondim, 2008). É um método sempre utilizado na execução das camadas do pavimento, sendo complementar a outros métodos de estabilização. Desse modo, a compactação por si só não estabelece um processo de estabilização, e sim é um artifício integrante das técnicas que utilizam mistura com algum agente estabilizante.

A estabilização química é definida como qualquer procedimento no qual um material químico, seja ele cimentante ou não, é adicionado ao solo atribuindo-lhe melhorias em suas propriedades do ponto de vista da engenharia. Para atuar como

estabilizante químico de um solo, modificando as suas propriedades físicas e químicas, o material, ao ser adicionado a este, reage como agente impermeabilizante, dispersante, floculante ou agregante dos materiais presentes neste solo (Silva, 1968 *apud* França, 2003).

A estabilização granulométrica consiste em se obter um produto final de estabilidade maior que os solos de origem, com a mistura íntima homogeneizada de dois ou mais solos e sua posterior compactação. Busca-se obter, ainda, mistura densamente granulada e de fração fina plástica limitada (Vizcarra, 2010).

O efeito do cimento em solos granulares proporciona ligações intergranulares que garantem a resistência mecânica do material através do aumento da partícula resistente relacionada à coesão (Portelina, 2008). O processo de endurecimento das partículas de cimento proporcionado pela hidratação, aliado aos produtos resultantes das reações pozolânicas ocorridas entre as partículas do solo, faz com que a mistura de solo-cimento sofra cimentação, contribuindo para a resistência final da mistura (Silva, 1968 *apud* França, 2003).

Dessa forma, segundo confirma Malanconi (2013), o uso de cimento em camadas de pavimento de solos tropicais proporciona grande melhora nas propriedades dos mesmos; da mesma maneira, Costa (2015) afirma que o cimento é hoje uma possível solução para prevenção da instabilidade de solos.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a estabilização de solo de estradas florestais em diferentes granulometrias, acrescido de cimento CP II E-32, verificando-se os efeitos desse aditivo químico nas propriedades físicas e mecânicas do solo. Como objetivo específico destaca-se a viabilidade do uso de cimento no reforço de solos de estradas rurais e florestais, como alternativa frente à erosão e ao desgaste causado pelo tráfego de veículos.

2 Metodologia

2.1 Materiais

O solo estudado nessa pesquisa é proveniente da cascalheira denominada “Gomide”, localizada no município de Cajuri, Minas Gerais, a qual possui

como coordenadas geográficas (20°46'46,23"S Latitude) e (42°49'12,68"O Longitude). A escolha deste material levou em consideração o solo de jazida; muito utilizado para o revestimento primário das estradas florestais da região.

O cimento empregado nesse estudo foi o Portland CP II E – 32; produto composto por cimento Portland puro com adição de escória granulada de alto forno, apresentando valores de resistência satisfatórios.

2.2 Métodos

A caracterização do solo da cascalheira foi realizada empregando-se os ensaios de granulometria conjunta (ABNT– NBR 7181/1984), massa específica dos sólidos (ABNT –NBR 6508/1984) e limites de liquidez e plasticidade (ABNT– NBR 6459/1984 e ABNT – NBR 7180/1984).

As análises de caracterização do solo, apresentadas na Tabela 1, mostram que o mesmo é classificado com base na metodologia Sistema de Classificação de Solos (SUCS) como areia argilosa (SC). Pela classificação *Transportation Research Board* (TRB) o solo se mostrou pertencente ao grupo A-2-6, que representa um solo com finos argilosos de média plasticidade, com bom funcionamento para sub-base de pavimentos. Já quanto à metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical), o solo foi classificado como NA', ou seja, solo arenoso não-laterítico. Ainda, segundo a norma ABNT– NBR 7181/1984, o solo em questão pode ser classificado como sendo pedregulho-areno-argilo-siltoso.

Propriedades Físicas					
Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade	Massa Específica		
37%	23%	14%	26,64 (kN/m ³)		
Composição Granulométrica					
Argila (< 0,002mm)	Silte (0,002mm-0,06mm)	Areia Fina (0,06mm-0,2mm)	Areia Média (0,2mm-0,6mm)	Areia Grossa (0,6mm-2,0mm)	Pedregulho (2,0mm-60mm)
13 %	11 %	17%	22%	24%	13 %

Tabela 1 Caracterização do solo.

Segundo as especificações do DNIT (2006), para solos serem utilizados como base granular na pavimentação, a composição dos mesmos deve atender faixas de granulometria em proporções específicas. Ferreira et al. (2016) afirma que a seleção de granulometrias em intervalos percentuais é adotada tanto em nível nacional quanto internacionalmente. Nesse sentido, o presente estudo abordou as faixas A, C e F da norma DNIT (2006), conforme a Tabela 2, adequando o solo coletado às respectivas granulometrias de ditas faixas, atendendo suas porcentagens em peso retido por peneiras.

Peneira	mm						
	A	B	C	D	E	F	
2"	50,8	0	0	0	0	0	0
1"	25,4	0	17,5	0	0	0	0
3/8"	9,53	52,5	25	32,5	20	0	0
4	4,8	7,5	12,5	17,5	12,5	22,5	15
10	2,09	12,5	12,5	12,5	12,5	7,5	7,5
40	0,42	13,5	10	15	20	35	27,5
200	0,08	14	22,5	22,5	35	35	50
Total	-	100	100	100	100	100	100

Tabela 2 Base granular adaptada em porcentagem de peso retido por peneiras, destacando as faixas A, C e F abordadas (adaptado de DNIT, 2006).

Uma vez peneirado e separado em porções retidas por peneira, o solo foi homogeneizado para composição das faixas de interesse A, C e F, conforme sequência da Figura 1.

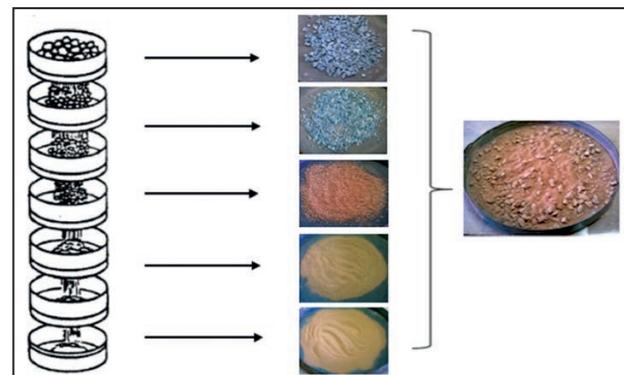


Figura 1 Esquema de composição de faixa granulométrica de interesse.

Uma vez compostas as faixas, os ensaios mecânicos foram realizados, para cada uma delas, trabalhando-se com amostras de solo em

estado natural, com amostras adequadas às faixas granulométricas sem uso de cimento e com amostras adequadas às faixas adicionando-se 4% de cimento em relação ao seu peso seco.

Trabalhou-se com o teor de 4% de cimento tendo-se em vista que tradicionalmente a condição de solo melhorado com cimento emprega teores de 2% a 4% desse aditivo. O valor escolhido visou atender a esse percentual, aproximando-se da condição de solo-cimento, onde normalmente se emprega o aditivo em teores de 6% a 10%. Atentou-se também ao fato da porcentagem escolhida ser mais econômica se comparada às porcentagens empregadas na condição de solo-cimento.

2.2.1 Ensaios de Compactação Proctor

Os ensaios de compactação foram executados na energia intermediária de acordo com a metodologia Proctor, obedecendo os parâmetros e recomendações da norma ABNT- NBR- 7182/2016.

Nesse ensaio, confeccionaram-se cinco corpos de prova referentes aos cinco pontos de compactação da trajetória de umedecimento. Cada amostra recebeu 26 golpes por camada divididos em cinco camadas, como normatizado para a energia trabalhada.

2.2.2 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR ou ISC) seguiu os procedimentos da norma ABNT 9895/2016 e DNIT – ME 172/2016 e se incorpora ao ensaio de compactação, uma vez que se torna sequência do mesmo.

Utilizou-se, portanto, os mesmos corpos de prova do ensaio de compactação, moldados em teor de umidade ótima e peso específico seco máximo, utilizando-se a energia intermediária.

Uma vez compactados, os corpos de prova passaram por um período de cura de sete dias, tempo o qual se exige para amostras estabilizadas com cimento.

Após o período de cura, os corpos de prova nos cilindros ISC foram levados à imersão por um tempo determinado de 96 horas, tempo durante o qual se mediu a expansão dos mesmos. Passado o período de imersão, as amostras foram submetidas à prensa Marshall para o teste de resistência à penetração, característico do ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

2.2.3 Ensaio de Resistência à Compressão não Confinada

O ensaio de Resistência à Compressão não Confinada, também conhecido como Resistência à Compressão Simples (RCS), foi realizado de acordo com a norma ABNT- NBR 12025/2012. Os corpos de prova foram moldados em umidade ótima e peso específico seco máximo, ambos determinados no ensaio de compactação, utilizando-se a energia intermediária.

Para cada composição foram compactados três corpos de prova, os quais passaram por um período de cura de sete dias após a compactação, mesmo período aplicado ao ensaio ISC.

Após o período de cura, as amostras foram levadas para rompimento em prensa específica, com objetivo de se determinar a pressão correspondente à carga que levou à ruptura os corpos de prova à medida que sofriam compressão.

3 Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de compactação, Índice de Suporte Califórnia e Resistência à Compressão não Confinada.

Amostras	Compactação		ISC		RCS
	W _{ot} (%)	Y _{dmax} (kN/m)	ISC (%)	Expansão ISC (%)	(MPa)
Solo natural	11,6	19,9	56,4	0,16	0,26
Solo faixa A	6,99	22,1	24	0,07	0,075
Solo faixa C	8,21	22,3	8,2	0,07	0,075
Solo faixa F	11	20,2	31,8	0,96	0,17
Solo faixa A + 4% cimento	6,99	22,4	>300	0,07	1,15
Solo faixa C + 4% cimento	7,99	22,4	>300	0,07	1,244
Solo faixa F + 4% cimento	10,91	20,4	>300	0,07	1,433

Tabela 3 Resultados dos ensaios de compactação, ISC e RCS.

3.1 Ensaios de Compactação Proctor

Os resultados dos ensaios de compactação evidenciam que os tratamentos nas faixas com 4% de cimento, de modo geral, não apresentaram grande variação de umidade ótima e peso específico seco em relação aos tratamentos sem cimento e ao solo natural.

3.2 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Os resultados mostram que o Índice de Suporte Califórnia para as amostras tratadas com 4% de cimento, em todas as faixas trabalhadas, foi notavelmente superior aos tratamentos sem uso de cimento e quanto ao solo natural. Nota-se que os valores de ISC atingiram os níveis máximos lidos pela prensa Marshall, com valores iguais ou superiores a 300%; três vezes superior ao ISC padrão, no qual comumente se emprega amostras de brita graduada.

Essa resistência é resultado dos contatos pontuais gerados pelo cimento no solo, proporcionando ligações intergranulares e coesão aparente que garantem a resistência mecânica.

Quanto à expansão dos corpos de provas estabilizados com cimento, devido à sua natureza mineralógica, esta característica se manteve em níveis baixos em todas as faixas, atendendo as especificações do DNIT (2006) para materiais de base e sub-base.

3.3 Ensaio de Resistência à Compressão não Confinada.

Com relação aos ensaios de Resistência à Compressão não Confinada para as amostras estabilizadas com cimento, em todas as faixas houve melhora na resistência quando comparado ao solo natural e às amostras sem cimento. Porém, os valores encontrados ficaram abaixo do recomendado pela norma DNIT-ES 143/2010 que rege os ensaios de solo-cimento, ou seja, 2,1 MPa para cura de sete dias.

Tal fato poderia ser solucionado através do aumento do teor de cimento empregado, ou na substituição da energia de compactação, de intermediária para modificada, combinada com o aumento do teor de cimento, levando-se em consideração os aspectos técnicos e econômicos.

4 Conclusão

O desarranjo e a posterior recombinação granulométrica em faixas desfavoreceram os índices de resistência e suporte do solo natural, tornando justificável a adição de cimento no reforço para camadas de pavimento.

As amostras tratadas com cimento apresentam para todos os diferentes arranjos granulométricos, notável melhora nas propriedades mecânicas do solo, evidenciando valores máximos de suporte e acréscimo de resistência.

Portanto, o uso de cimento na estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais apresenta-se como uma solução viável, proporcionando maior estabilidade e inferindo em reduzida perda de material frente à precipitação e desgaste causado pelo tráfego.

5 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1984. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 6p.
- Costa, L.F.C. 2015. *Estudo de solo de alteração do Jurássico Superior: Caracterização geotécnica e melhoramento por cal e cimento*. Programa de Pós-graduação em Geologia Aplicada, Universidade de Lisboa, Dissertação de Mestrado, 101p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. 2006. Manual de Pavimentação. 3ª Edição. Rio de Janeiro. 274p. (IPR. Publ., 719)
- DNIT-ES 143. 2010. Pavimentação – Base de solo-cimento. Rio de Janeiro. 10p.
- DNIT – ME 172. 2016. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro.
- Ferreira, J.L.S.; Soares, J.B. & Bastos, J.B.S. 2016. Métodos de seleção granulométrica com foco na resistência à deformação permanente. *Revista Transportes*, 24(2): 46-52.
- França, F.C. 2003. *Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto "RBI GRADE 81"*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Mestrado, 104p.
- Gondim, L.M. 2008. *Estudo experimental de misturas solo-emulsão aplicado às rodovias do Agropólo do baixo Jaguaribe - CE*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 213p.
- Malanconi, M. 2013. *Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para uso como*

- camada de pavimento urbano*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, Dissertação de Mestrado, 94p.
- NBR 9895/2016. Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro.
- NBR 6508/1984. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica e os procedimentos para determinação do Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez. Rio de Janeiro.
- NBR 7180/1984. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- NBR 7181/1984. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- NBR 7182/2016. Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- NBR 12025/2012. Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.
- Portelinha, F.H.M. 2008. *Efeitos da cal e do cimento na modificação dos solos para fins rodoviários: mecanismos de reação, parâmetros de caracterização geotécnica e resistência mecânica*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Mestrado 161p.
- Vizcarra, G.O.C. 2010. *Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano Para Base de Pavimentos*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 120p.