

Um Primeiro Estudo da Estabilização dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza Para Aplicação na Engenharia Rodoviária

Suely Helena de Araújo Barroso e Raphael Mesquita dos Santos

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil

RESUMO: Esse trabalho tem como objetivo estudar alternativa que permita o melhoramento das propriedades dos solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) a partir do uso da cal, como agente estabilizante. Para tanto, foram ensaiados cinco solos pertencentes a cinco classes pedológicas diferentes da RMF. Esses solos naturais foram submetidos aos ensaios de granulometria conjunta, limites de liquidez e plasticidade, ensaios de compactação e CBR, na energia de compactação intermediária. Aos solos naturais foram adicionados teores de 3%, 5% e 7 % da cal. As misturas de solo-cal foram então submetidas novamente aos ensaios de Proctor e CBR. Foram moldados também, corpos de prova para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples nos períodos de cura de 4, 7 e 28 dias, na energia de compactação intermediária. Os resultados de laboratório permitiram observar que há melhoramento das propriedades dos solos estudados com a adição da cal.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização, Pavimentação, Região Metropolitana de Fortaleza

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Chaves, Motta e Benevides (2004), o estado do Ceará possui cerca de 85% da sua malha rodoviária constituída por rodovias de baixo volume de tráfego, sendo parte em revestimento primário e o restante em leito natural. Essas rodovias apesar de representarem um importante papel no desenvolvimento da agricultura, na redução do custo operacional de veículos e na expansão dos serviços públicos nas regiões que atravessam estão, na maioria dos casos, impossibilitadas de serem melhoradas em virtude dos altos custos de construção inicial dentro dos padrões convencionais.

O baixo volume de tráfego existente na maioria das estradas de terra, bem como a escassez de materiais em algumas regiões do estado do Ceará, tem desafiado técnicos e autoridades do setor rodoviário na busca de soluções alternativas de pavimentação que minimizem os custos de construção e conservação de rodovias.

Uma alternativa para minimizar esses altos custos é tentar estabilizar os solos locais, que não possuem propriedades adequadas, através de uma estabilização mecânica ou com uso de

aditivos químicos, como cimento, cal, betume, sais minerais e materiais a base de enzimas.

A cal e o cimento foram os produtos estabilizantes, dentre vários existentes, mais usados até hoje, sendo que a cal vem sendo utilizada desde os primórdios da nossa civilização. Pode-se observar a sua utilização em obras de grande porte que resistiram durante séculos e existem até hoje, como por exemplo, as obras pertencentes às civilizações da Babilônia, Assíria, Egito, China e Roma (Guimarães. 1998).

A adição da cal a um material natural pode resultar na melhoria de algumas das propriedades dos solos de interesse à pavimentação, tais como aumento de resistência mecânica, redução da plasticidade e da expansão, etc.

No Estado do Ceará a cal foi testada para promover o melhoramento das características dos solos que possuem propriedades inadequadas para aplicação na engenharia rodoviária. Loyola e Nobre Júnior (2001) relatam a experiência pioneira do uso do solo-cal, no ano de 2000, em um trecho experimental de 1 km no município de Limoeiro do Norte – Ceará.

O estudo de Loyola e Nobre Júnior (2001) motivou o Departamento de Edificações Rodovias e Transporte do estado do Ceará (DERT/CE) a implantar 40 km da rodovia CE-377, que atravessa a chapada do Apodi ligando Quixerá (CE) a Baraúnas (RN), usando a técnica de solo-cal. Esse trecho, conhecido localmente como estrada do melão, proporcionou uma melhoria considerável no escoamento de produtos e no nível sócio-econômico da região a partir da aplicação de uma solução econômica de baixo custo que justificou a implantação da rodovia.

Com o objetivo de tentar viabilizar economicamente os investimentos em obras de pavimentação de rodovias de baixo volume de tráfego no estado do Ceará, realizou-se o estudo da técnica de solo-cal para os solos que ocorrem na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

2. OBJETIVO

Por ser uma região muito rica em minérios, o estado do Ceará tem um grande potencial na realização da estabilização química seja ela com cimento, betume, sais minerais, materiais a base de enzimas, e principalmente com o calcário (a cal) muito abundante em todo o estado.

De acordo com trabalho de Barroso (2002), sabe-se que a maioria dos solos, in natura, encontrados na RMF não possuem propriedades adequadas para serem usadas em camadas de bases e sub-bases dos pavimentos. Tendo em vista essa realidade, a pesquisa teve como objetivo principal desenvolver um programa experimental que permitisse o melhoramento das propriedades dos solos da RMF a partir do uso da cal como agente estabilizante.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Região Metropolitana de Fortaleza está situada no nordeste do estado do Ceará, situando-se entre os meridianos de 38°13'18,3" e 39°00'00" de longitude a oeste de Greenwich e os paralelos de 03°33'6,3" e 04°10'44,5" de latitude sul.

A RMF possui uma área de 3.483 km², sendo constituída pelos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maranguape, Maracanaú, Pacatuba, Guaiúba, Itaitinga, Aquiraz e Eusébio. Atualmente foram incorporados à Região Metropolitana de Fortaleza mais três municípios: São Gonçalo do Amarante, Horizonte e Pacajus.

Segundo informações da EMPRAPA (1973) as principais classes pedológicas existentes na RMF e as suas porcentagens aproximadas de ocorrência, segundo levantamentos executados por Barroso (2002), são: podzólico vermelho amarelo (40,28%), planosolo (18,05%), bruno não cálcico (16,67%), areias quartzosas (12,50%), solos halomórficos (5,56%), solos litólicos (5,56%) e vertisolos (1,38%).

Barroso (2002) ressalta que na RMF os solos classificados pedologicamente como areias quartzosas e podzólicos têm potencial de serem usados em camadas mais nobres dos pavimentos. Já os solos classificados pedologicamente como bruno não cálcicos, halomórficos, litólicos e vertisolos devem ser usados, no máximo, para comporem a camada de terraplenagem de um pavimento e sugere que as propriedades desses solos possam ser melhoradas a partir do uso de misturas estabilizadas granulometricamente ou quimicamente.

Ressalte-se que para o solo ser usado em pavimentação no Estado do Ceará, o DERT/CE (1994) limita o CBR (Índice de Suporte Califórnia), para energia de compactação intermediária, no mínimo igual a 20% para sub-base e 60% para base; expansão no máximo de 1% para sub-base e 0,5% para base; índice de grupo (IG) igual a zero; limite de liquidez (LL) no máximo 25% e índice de plasticidade (IP) no máximo 6%.

Resolveu-se então aplicar o procedimento experimental planejado de estabilização química, a partir do uso da cal, aos solos da RMF que apresentassem classificação pedológica diferente, tendo em vista a possibilidade de se identificar, nessa região, os materiais com potencial de uso na pavimentação a partir da classe pedológica a que pertencem.

Para o desenvolvimento do experimento foram selecionados solos com baixo valor de

CBR e alta porcentagem de solo que passa na peneira de abertura nominal igual a 200. Assim foram coletados cinco tipos de solos, já estudados por Barroso (2002), identificados pelos nomes *Cauc11*, *Maran09*, *Eus06*, *Cauc13* e *Guaiú02*.

As amostras coletadas foram submetidas aos ensaios de caracterização, granulometria, mini-MCV e perda de massa por imersão, bem como ensaios de compactação, CBR, expansão na energia de compactação intermediária.

Os ensaios de mini-MCV e perda de massa por foram executados no Laboratório de Estradas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Os demais ensaios foram executados no Laboratório de Solos e Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes (DET) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Após a execução dos ensaios nos solos naturais, verificou-se que eles possuem propriedades inadequadas para uso em pavimentação, não sendo recomendado o seu uso para camadas mais nobres do pavimento (base e sub-base).

Aos solos naturais foram adicionados teores da cal nas porcentagens de 3%, 5% e 7%, deixando-se a mistura reagir por 24 horas. Para análise das misturas de solo-cal foram novamente realizados os ensaios de preparação de amostras, análise granulométrica, LL, LP, compactação, CBR, expansão e compressão simples.

A cal utilizada para execução das misturas de solo-cal foi a do tipo calcita hidratada do fabricante Carbomil, fornecida em sacos e adquirida no comércio de Fortaleza-Ceará. A composição química da cal é mostrada na tabela 1, segundo dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 1. Análise química da cal usada.

Composição Química	
PPC	23,0% - 25,0%
Ca(OH) _{2d}	90,0% - 98,5%
MgO	3,5% max
RI _(insolúvel em HCl)	0,5% max
SiO ₂	0,3% max
R ₂ O ₃	1,5% max

Foram confeccionados corpos de prova para serem ensaiados, nos períodos de cura de 4

dias, para o ensaio de CBR na energia intermediária. Foi também executado o ensaio de compressão simples para 4, 7 e 28 dias na energia do Proctor intermediário para os teores de 3%, 5% e 7 %.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Ensaios com os solos *in-natura*

Os resultados dos valores de limite de liquidez (LL), índice de plasticidades (IP), porcentagem que passa na peneira de abertura nominal igual a 200, bem como os resultados da classificação HRB (Highway Research Board), MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) e pedológica são apresentados na tabela 2. Observe-se, nessa tabela, que as iniciais *B*, *H*, *L*, *Pl*, *Po* e *V* são usadas para apresentar os resultados obtidos para as classes pedológicas dos brunos não-cálcicos, halomórficos, litólicos, planosolos e vertisolos, respectivamente.

Tabela 2. Resultados dos ensaios em solos naturais.

Ensaio	Amostras				
	Guai2	Cauc13	Eus06	Cauc11	Maran9
LL(%)	42	46	NL	38	42
IP(%)	18	20	NP	14	16
#200(%)	60	80	54	59	62
HRB	A-7-6	A-7-6	A-4	A-6	A-6
MCT	NG'	NG'	NA	NG'	NG'
Pedologia	V	L	H	Pl	Br
Hót	18,4	18,5	10,9	17,4	18,5
Ysmáx (g/cm ³)	1,769	1,638	1,790	1,718	1,734
CBR(%)	1,0	9,0	19,0	2	4,0
EXP(%)	1,2	1,0	0,2	1,7	0,2

A tabela 2 mostra também os resultados dos ensaios de compactação, resistência CBR e expansão, nos solos naturais, na energia de compactação intermediária.

Observando-se os resultados apresentados na tabela 2, verifica-se que os solos naturais fogem às especificações do DERT/CE (1994) no que diz respeito à qualidade do material que deve ser usado em camadas de base e sub-base do pavimento.

4.2. Ensaios com as misturas de solo-cal

No que diz respeito aos valores dos limites de Atterberg houve uma redução para zero com o acréscimo da cal, fazendo com que os solos diminuam a capacidade de sofrer variações de volumes que são indesejáveis para o seu bom comportamento em campo.

Os resultados dos valores de umidade ótima e massa específica seca máxima para as misturas com 0%, 3%, 5% e 7% da cal são mostrados nas figuras 1 e 2, respectivamente.

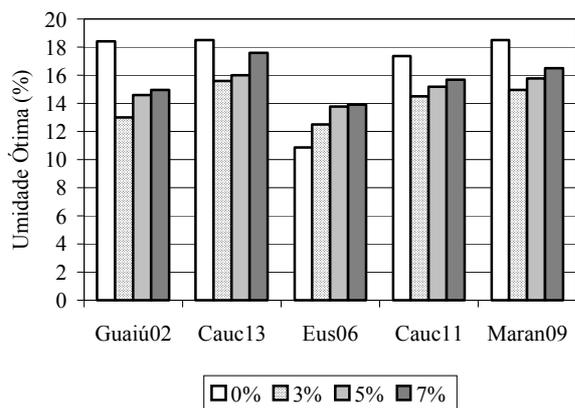


Figura 1. Umidade ótima versus teor da cal.

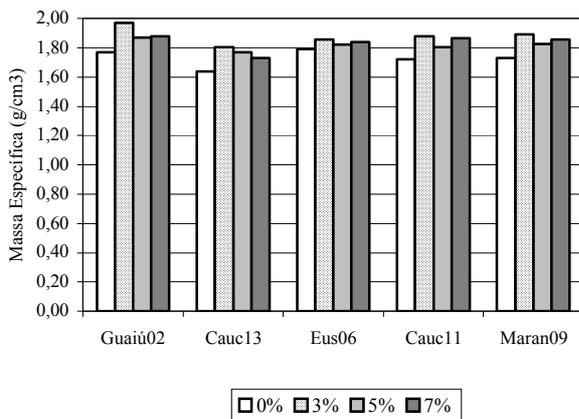


Figura 2. Massa específica seca máxima versus teor da cal.

Para os solos pertencentes ao grupo NG' (solo argiloso não laterítico) da classificação MCT, nota-se, conforme a figura 1, que a umidade ótima diminuiu a partir da adição da cal aos solos naturais e que os valores da umidade ótima aumentaram com o percentual da cal adicionado. Já para a amostra identificada como *Eus06*, classificada como NA' (areia não laterítica), percebe-se que o

acréscimo do teor da cal faz com que haja um aumento do teor de umidade considerando-se os resultados com o solo natural e com o solo misturado com a cal.

O aumento da umidade ótima, com o teor da cal, pode ser creditado ao aumento da superfície específica das misturas ensaiadas. Esse comportamento também foi obtido por Santos, Farias e Souza (2004) para um solo do tipo LG' (laterítico argiloso) da Região do Distrito Federal. A única exceção foi que o solo natural estudado por esses autores apresentou umidade ótima menor do que as misturas de solo-cal. Já os valores das massas específicas secas máximas decresceram para os teores de 2%, 4%, 6% e 8% da cal adicionada ao solo natural.

Analisando-se a figura 2 verifica-se que os valores das massas específicas secas máximas dos solos naturais aumentaram quando se compararam os resultados obtidos com os solos naturais com os das misturas de solo-cal. Analisando-se a influência do teor da cal, percebe-se que as massas específicas secas máximas diminuem até o teor de 5% da cal, mantendo-se praticamente constante para os teores de 5% e 7%.

Os resultados dos ensaios de CBR nos solos naturais e misturados com a cal são mostrados na figura 3. Observa-se que a incorporação de pelo menos 3% da cal permitiu um aumento significativo nos valores de CBR, possibilitando que os solos possam ser usados, no mínimo, para camadas de sub-base.

É interessante exemplificar e observar o ganho de resistência do solo identificado como *Guaiú02*, que é um vertissolo (massapé), que antes só seria adequado para fabricação de telhas e cerâmicas e misturado com 3% da cal pode atingir um valor CBR de 36%, representado um excelente material para uso em obras rodoviárias.

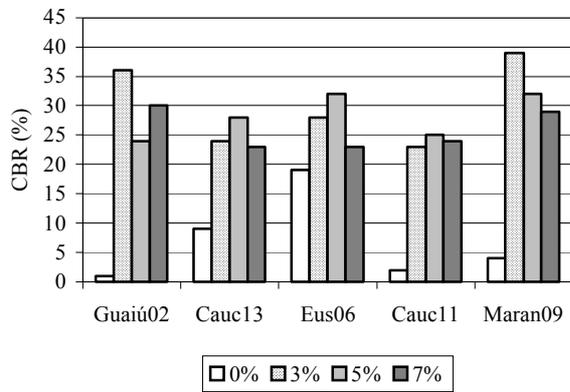


Figura 3. CBR versus teor de cal para os solos.

Cumprе ressaltar que o ensaio de expansão foi realizado juntamente com o ensaio CBR e que todos os valores dessa propriedade foram reduzidos para zero a partir da adição de teores de 3%, 5% e 7% da cal. Esses resultados são importantes, pois permitem o enquadramento dos materiais para serem usados em camadas de base e sub-base estabilizadas quimicamente e impedem que o solo não sofra grandes alterações de umidade quando em contato com a água.

Conforme elucidado anteriormente as amostras foram também submetidas ao ensaio de compressão simples para verificação do ganho de resistência com o tempo e com o teor da cal. Para a execução desse ensaio foram moldados corpos de prova cilíndricos de diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, em uma cura seca (ao ar livre) para 4, 7 e 28 dias. Os resultados da resistência à compressão simples (RCS) são apresentados nas figuras 4, 5 e 6, para os teores de 3%, 5% e 7%, respectivamente.

Observa-se que a RCS teve aumento com relação ao teor da cal e ao tempo de cura. Os melhores resultados da RCS foram obtidos para o teor de 7% da cal e para o período de cura de 28 dias.

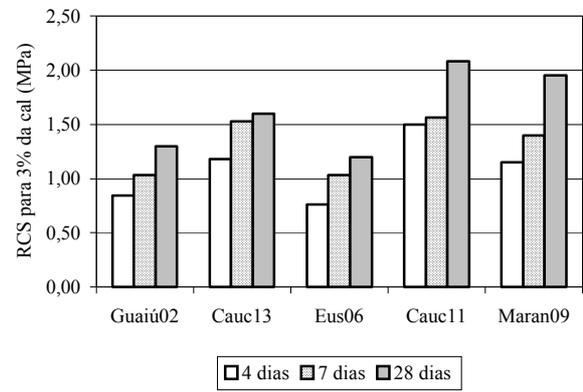


Figura 4. Resultados da RCS para 3% da cal.

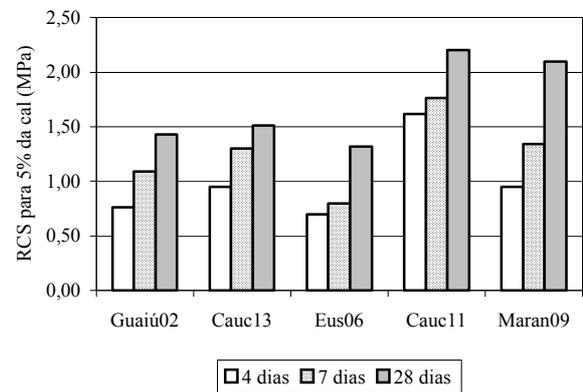


Figura 5. Resultados da RCS para 5% da cal.

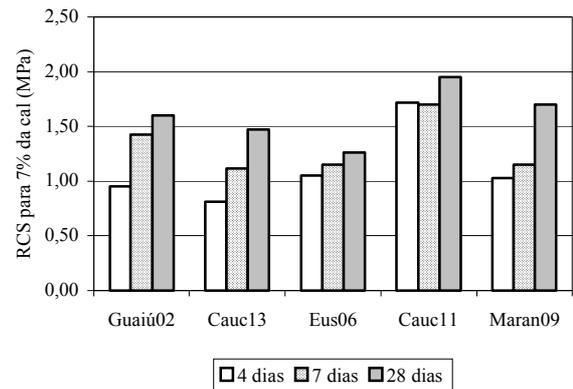


Figura 6. Resultados da RCS para 7% da cal.

5. CONCLUSÕES

O processo de estabilização química dos solos a partir do uso da cal para as amostras ensaiadas da RMF se mostrou tecnicamente viável. Foi verificado o melhoramento das

propriedades dos solos que tinham mau comportamento, possibilitando o uso desses materiais na Engenharia Rodoviária. Cabe observar que os solos, se usados in natura, não seriam recomendados nem sequer para camada de terraplenagem, reforço e/ou sub-base, enquanto com a adição da cal passam a ser utilizados em camadas mais nobres do pavimento.

A viabilidade técnica-econômica da estabilização de solos com a cal é verificada quando se consideram alguns dos fatores mencionados abaixo:

- a) redução nos custos de transporte de material e conseqüentemente dos custos rodoviários;
- b) aumento da resistência mecânica dos solos que possuem propriedades inadequadas para uso em pavimentação;
- c) redução da plasticidade e expansão dos solos, permitindo o seu enquadramento nas especificações técnicas vigentes para construção de bases e sub-bases de pavimentos.

Nos solos analisados foi verificado que a resistência à compressão simples aumentou com o tempo de cura e com o teor da cal.

De acordo com os resultados de CBR apresentados, os solos atingiram índices superiores aos permitidos pelas especificações para construções de sub-bases de pavimentos.

Verificou-se, então, que a prática da estabilização química com a cal pode ser uma alternativa que possibilita o uso de solos argilosos, que não apresentam bom comportamento, viabilizando técnico-economicamente a construção de pavimentos de baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, S. H. A. (2002). *Estudo dos solos na Região Metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária*. Tese de Doutorado 168 p. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, SP.
- Chaves, Motta e Benevides (2004) *Revestimento com Tratamento Superficial Simples em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. CD-ROOM.
- DERT/CE. (1994) Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes. *Especificações Gerais para Serviços e Obras Rodoviárias*. Fortaleza.
- EMPRABA. (1973) *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará*. Convênio de mapeamento de solos MA/DNPEA-SUDENE/DRN e MA/CONTAP/USAID/ETA. v. 1 e v. 2. Recife, Pernambuco.
- Guimarães, J. E. P. (1998) *A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil*, Ed. PINI, São Paulo.
- Loiola, P. R. R. Nobre Júnior, E. F. (2001), *Trecho Experimental utilizando Mistura de Solo-Cal no Município de Limoeiro do Norte – Ceará*. VI Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Brasília-Distrito Federal. CD-ROOM.
- Santos, J; Farias, M. M; Souza, N. M. (2004). *Estabilização com Cal de um Solo Laterítico Argiloso da Região do Distrito Federal*. Anais da 35ª Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CD-ROOM.