

Estudo de Técnicas Alternativas na Estabilização de Processos Erosivos em Áreas Urbanas – Método da Estabilização Utilizando Solo-Cal

Raissa Freire Santos

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, raissafreire123@gmail.com

Marta Pereira da Luz

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, martapluz@gmail.com

Saulo Assis de Oliveira

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Brasil, sauloliv@gmail.com

RESUMO: A tentativa de se utilizar técnicas que melhorem o comportamento mecânico do solo natural tem se mostrado interessante, visto que proporciona situação mais favorável ao combate de problemas como os processos erosivos. Este artigo justifica-se na procura de demonstrar a aplicação de cal em processos erosivos, sendo solução de engenharia, na busca de obter a estabilização necessária de solo local sem que este tenha que ser substituído. O principal objetivo deste artigo é, portanto, avaliar as características físicas, as reações físico-químicas e o comportamento mecânico em função de suporte de solo com adição de cal hidratada, por meio de estudos técnicos, para a possível utilização em processos erosivos. Para melhor compreensão e conhecimento das características do solo e de como este reage à adição de cal hidratada em diferentes dosagens, faz-se necessário à realização de ensaios geotécnicos de Caracterização, Compactação, Índice Suporte Califórnia, e Inderbitzen do solo natural e nas misturas solo-cal com os seguintes percentuais 2%, 4%, 6% e 8% em massa seca. Para a realização deste artigo coletaram-se amostras de solo, com características do tipo argilo-arenoso, deformadas e indeformadas. Os resultados mostraram um aumento na resistência e diminuição na plasticidade do solo quando adicionada a cal, mostrando-se apropriada sua aplicação com o teor de 8%. A adição da cal apresentou bons resultados de controle de potenciais expansivos no solo estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-Cal, erosão, estabilização, resistência.

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos em áreas urbanas em sua maioria são decorrentes da retirada da vegetação devido a um crescimento vertiginoso da população urbana associada com a falta de planejamento urbano adequado, ocasionando a diminuição do tempo que a água levaria para atingir o solo, que se torna praticamente impermeável devido às edificações, assim aumentando o coeficiente de escoamento superficial da água; como resultado temos os sedimentos que podem atingir os fundos de

vales provocando o assoreamento dos cursos d'água, gerando problemas de abastecimento ou até mesmo de produção de energia; além de obras que podem ser diretamente atingidas, como por exemplo, ruas, galerias de esgoto e água, e propriedades privadas em geral que podem ser comprometidas ou perdidas pela ocorrência de uma erosão. Estes processos apresentam aspectos de erosão laminar, ravinas ou voçorocas ou ainda de erosão de sub-superfície ao atingir o lençol freático. Tais danos resultam em onerosos gastos aos cofres públicos e às populações das áreas atingidas,

além de causar problemas ambientais e sociais que podem ser irreversíveis.

Visto isto, este artigo objetiva-se no estudo da utilização de solo-cal como solução viável econômica e ambientalmente para mitigar ou até mesmo extinguir um processo erosivo em área urbana. O solo estudado foi coletado na região leste da cidade de Goiânia, estado de Goiás, onde apresenta diversos processos erosivos em andamento.

A geomorfologia e a forma da erosão influencia no modo como esta evolui, portanto, conhecer os fatores que governam o surgimento e a evolução contínua de processos erosivos é de fundamental importância para a escolha do método mais adequado para sua estabilização, seja ela, uma contenção ou a utilização de agentes estabilizadores como a cal, o cimento e outros.

2 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO

A estabilização de um solo consiste em dotá-lo de condições de resistir a deformações e ruptura durante o período em que estiver exercendo funções que exigem essas características, em uma obra qualquer (SENÇO, 2001, p. 47).

Segundo Guimarães (2002, p. 179), a técnica de estabilização de solo deve ser baseada na economia e ainda na finalidade da obra. Esta é utilizada quando um solo não possui características geotécnicas exigidas para suportar a obra projetada, principalmente quanto à sua resistência, torna-se necessário corrigi-lo ou substituí-lo por outro, com adição ou subtração de componentes, ou com a ação de agentes químicos (orgânicos ou inorgânicos).

3 TIPOS DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLO

Guimarães (2002, p. 179) afirma que a estabilização dos solos pode ser obtida pelo uso de várias técnicas, que podem ser reunidas em dois grupos, as que empregam meios mecânicos, como a correção da granulometria e plasticidade, com adição ou subtração de certas quantidades das frações constituintes até a obtenção dos parâmetros estabelecidos por

norma; e as que empregam meios químicos, utilizando aditivos orgânicos ou inorgânicos, como materiais betuminosos, resinas, compostos de fósforo, silicatos de sódio, cal, cimento Portland e outros.

De acordo com Gondim (2008, p. 25) dentre os métodos existentes de estabilização mecânica, sobressaem à compactação e a estabilização granulométrica; são considerados métodos de estabilização mecânica os procedimentos que alteram o arranjo das partículas do solo ou a granulometria deste.

Ainda segundo Gondim (2008, p. 26/27), o processo de estabilização química consiste na modificação das propriedades físicas do solo através de agentes estabilizantes que reagem com as partículas do solo, dessa forma, resultando no melhoramento e estabilidade das propriedades mecânicas e hidráulicas do mesmo; as partículas do solo são geralmente aglutinadas pelos aditivos, agentes estabilizantes, que sofrem reações químicas com o solo; os aditivos podem ser o cimento, a cal, produtos betuminosos, polímeros, entre outros.

4 ESTABILIZAÇÃO DE SOLO COM CAL

De acordo com Araújo (2009, p. 12) e Bueno (2011, p. 35) apud Azevedo *et al.* (1998), a mistura de solo-cal define-se como sendo uma mistura íntima de solo, cal e água em dosagens determinadas através de ensaios laboratoriais e, a aplicação dessa técnica fundamenta-se em reações químicas e físico-químicas que ocorrem entre a cal e os constituintes do solo, principalmente com a fração argilosa.

Segundo Branco, Pereira e Santos (2011, p. 64/65) uma ampla variedade de solos podem ser estabilizados com a cal, exceto os solos muito orgânicos (matéria orgânica máxima = 2%), pois sua composição química reage desfavorável com a cal; os solos que reagem favorável com a cal são, os que são fáceis de desagregar para a mistura se fazer bem, e os que possuem granulometria relativamente estável.

O método de dosagem das misturas solo-cal, segundo Gondim (2008, p. 29) consiste da adição de teores variáveis de cal à amostra de

solo, e da análise dos seus efeitos na plasticidade, coesão e resistência das misturas, após o tempo de cura. Para Branco, Pereira e Santos (2011, p. 64/65) os teores em cal mais usuais são da ordem de 3 a 7%, no qual, os solos melhores para estabilizar com cal são os que possuem pelo menos 15% de material passado no peneiro nº 4 (4,75 mm) e um IP > 10%.

Branco, Pereira e Santos (2011, p. 64/65) e Guimarães (2002, p. 192-194) afirmam que os efeitos da estabilização de solo com cal é a obtenção de resistências mais elevadas, do que os solos apenas compactados, devido ao efeito de cimentação das partículas; a redução da plasticidade dos solos argilosos e modificação da granulometria, de tal forma, que melhora a trabalhabilidade do mesmo.

4.1 Materiais Utilizados na Mistura Solo-Cal

Os principais materiais utilizados na mistura solo-cal são o solo do local, a cal adotada para estabilização e a água; estes exercem influências sobre o comportamento da mistura e suas devidas reações químicas, ou seja, são os responsáveis pelas alterações das características do solo.

Segundo Azevedo (2010, p. 20) há sempre ganhos de qualidade na mistura solo-cal, em qualquer tipo de solo, desde que este tenha material fino correspondendo à fração argilosa na sua composição; esse ganho será mais efetivo, quanto maior seja esta fração argilosa do solo, para um mesmo teor de cal e um mesmo tipo de argilo-mineral componente desta fração argila.

Segundo Santos (2004, p. 24) os tipos de cal mais utilizados, para estabilização de solos, são: cal hidratada cálcica – Ca(OH)_2 ; cal dolomítica monohidratada – $\text{Ca(OH)}_2\text{MgO}$; cal virgem – CaO e cal dolomítica virgem – CaOMg ; estes produtos se diferenciam pela rocha de origem e pelo processo de fabricação (calcinação), sendo em geral mais utilizada a cal cálcica hidratada. Para este estudo utilizou-se a Cal Hidratada.

A norma ABNT NBR 11172:1990 define a Cal como um aglomerante cujo constituinte principal é o óxido de cálcio em presença natural com o óxido de magnésio, hidratados ou

não; subdivide em: Cal virgem, designada como cálcica, magnesiana ou dolomítica; Cal extinta; Cal hidratada; e Cal hidráulica.

A norma ABNT NBR 7175:1992 define a Cal hidratada como um pó seco obtido pela hidratação de cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Segundo Azevedo (2010, p. 22) as reações entre a cal e o solo só ocorrem na presença de umidade, na forma de uma camada de água adsorvida envolvendo as partículas de solo; os íons de hidrogênio livres presentes na superfície das partículas do solo polarizam estas partículas, gerando uma coesão; quando se adiciona cal ao solo, ocorre a aglutinação de íons de cálcio na superfície da partícula de solo em substituição aos íons de hidrogênio, gerando um aumento nas forças de atração entre estas partículas, levando a uma maior coesão; ou seja, a água é um veículo para que ocorra a aglutinação de íons, que quando em excesso pode atrapalhar as reações, pois afastará fisicamente as partículas umas das outras, impossibilitando as forças de atração iônicas existentes. Como em qualquer outro solo, é importante também, a verificação do teor de água para se conseguir uma densidade adequada na compactação da mistura, para assim atingir a densidade máxima quando ocorrer à resistência mais estável do solo, afirma ainda Azevedo (2010, p. 23).

4.2 Mistura Solo-Cal e as Reações Químicas

O solo-cal é um produto de estabilização físico-química que possui a finalidade de melhorar permanentemente as características do solo e aumentar sua resistência à ação da água e seu poder de suporte, afirma Baptista (1976, p. 121-124). Ele ainda acrescenta que quando se mistura a cal ao solo úmido se processam diversas reações, geralmente, simultaneamente, o que torna difícil a separação e análise de cada reação; destacam-se as principais reações que puderam ser identificadas, são elas, troca de íons, floculação e aglomeração, carbonatação,

reações pozolânica ou cimentante.

Para Bueno (2011, p. 39) a troca catiônica e a floculação-aglomeração são efeitos rápidos da mistura solo-cal; já os efeitos lentos são as reações pozolânicas, que proporcionam um aumento da resistência devido à formação de produtos cimentantes, e a carbonatação.

Guimarães (2002, p. 187-198) expõe as ocorrências no solo devido à mistura solo-cal:

- Troca Iônica, é uma ação imediata e após alguns instantes provoca mudanças nas propriedades físicas, tais como, na granulometria, torna o solo mais grosseiro, consequência da aglomeração e floculação; nos Limites de Atterberg, normalmente o limite de plasticidade aumenta, diante disso, o Índice de Plasticidade diminui; na compactação, há diminuição do valor da densidade máxima seca e aumento do valor da umidade ótima; na expansão/contração do solo, estes diminuem devido à floculação; e na capacidade de suporte, este aumenta e define o sucesso da mistura solo-cal;
- Ação Pozolânica, é uma ação em longo prazo e visa à cimentação das partículas, aglomerando-as; quando a cal é adicionada ao solo, seu pH eleva-se, dessa forma, são criadas as condições alcalinas nas quais os minerais na fração argila reagi com a cal, formando aluminatos, silicatos e aluminosilicatos de cálcio hidratados, todos com influência no processo de estabilização pelas suas características cimentosas;
- Carbonatação, é uma ação imediata e tende a refazer o carbonato de cálcio, num novo corpo sólido que se entrelaça com os demais do solo e compacta o sistema; é de alta importância para que se atinja a estabilização desejada, pois possui poder cimentante.

4.3 Influência do Processo de Cura

Para Guimarães (2002, p. 179-186), os fatores ambientais que interferem nos resultados obtidos entre o solo e a cal são as variações da temperatura no local, o anidrido carbônico presente no ar, a presença de águas superficiais e/ou subterrâneas no local, os índices pluviométricos da região e os esforços mecânicos produzidos na obra; já o solo influi

com seus constituintes principais, argilas e quartzo; e a cal influi com o valor de seus teores de óxidos de cálcio e magnésio.

Santos (2004, p. 27-30) afirma que o aumento da resistência do solo, além de depender do tempo de cura, relaciona-se diretamente com a temperatura para a qual a mistura compactada sofre a cura, e com o aumento do teor de cal; em se tratando dos materiais envolvidos na mistura solo-cal, é a natureza do solo que mais interessa, solos com características argilosas reagem melhor a cal, já que a cal pode ser controlada facilmente.

5 EXECUÇÃO EM OBRA DA MISTURA SOLO-CAL

Existem diversas técnicas de estabilização de solos utilizando a cal, Guimarães (2002, p. 214-222) cita alguns exemplos, como, colunas de solo-cal, injeção de lama cal sob pressão, estabilização de revestimentos de canais de irrigação, e Grouting (sob alta pressão).

A aplicação da Cal na superfície da erosão pode se feita através da pulverização de calda fluida de Cal com aglutinantes fixadores, tendo como vantagens, baixo custo, bom desempenho, praticidade de aplicação e durabilidade.

6 EROSÃO E SOLO ESTUDADO

O solo em estudo possui características de uma argila-arenosa, é proveniente de uma região de Goiânia onde há habitação de classe média alta, já apresenta em diversos locais o início de um processo erosivo e em outros já se vê este bem avançado.

A cidade de Goiânia, fundada em 1933, foi projetada para 50 mil habitantes. Em 1970, já estava com 363 mil habitantes, a partir de então iniciou-se a ocupação inadequada em terrenos geotecnicaamente problemáticos e a destruição sistemática da cobertura vegetal, sendo o estopim para processos erosivos. Na década de 1990 foi feito um convênio entre o Departamento de Estradas de Rodagem do Município (DERMU) e o Departamento de Geografia da Universidade Federal de Goiás, no

qual foi realizado o cadastro das erosões existentes em Goiânia; em 2002 esse convênio foi refeito, incluindo a Escola de Engenharia e o Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, assim atualizaram as informações sobre os processos erosivos existentes, no qual se verificou que as principais causas destes são as galerias pluviais e o lançamento do escoamento concentrado (MARTINS *et al*, 2006, p. 210-220).

7 MATERIAIS E METODOLOGIA

Para realização dos ensaios geotécnicos do solo em estudo utilizou-se do Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia; e do Laboratório de Mecânica dos Solos – Caracterização (Bloco 2) do Departamento de Tecnologia de Empreendimentos – DCTE da Eletrobrás Furnas, Aparecida de Goiânia. Os resultados foram apresentados e analisados mais adiante.

7.1 Preparo das Amostras para Realização dos Ensaios Geotécnicos

Para a realização dos ensaios geotécnicos fez-se necessário retirar amostras deformáveis e indeformáveis do local. Somente para o ensaio Inderbitzen coletou-se uma amostra indeformada com dimensão de 10x10x5cm. Para os demais ensaios utilizaram-se amostras deformadas que passaram pelos procedimentos da ABNT NBR 6457:1986 Amostras de solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.

7.2 Caracterização do Solo In Natura e com Dosagens de Cal

Os ensaios de Caracterização foram realizados para o solo in natura e para o solo com dosagens de cal de 2%, 4%, 6% e 8% com um tempo de cura de 7, 14 e 28 dias.

7.2.1 Análise Granulométrica

Ensaio normatizado pela ABNT NBR 7181:1984 e realizado com a combinação de

sedimentação e peneiramento. Classifica o solo quanto a sua granulometria.

7.2.2 Massa Específica dos Grãos que passam no peneiro de 4,8 mm

Ensaio normatizado pela ABNT NBR 6508:1984. O resultado final foi determinado a partir da média obtida de dois ensaios realizados, no qual estes são considerados satisfatórios quando se diferem no máximo de 0,02 g/cm³, deve ser expresso com três algarismos significativos em g/cm³. Todo o solo para amostragem passou no peneiro de 4,8 mm.

7.2.3 Limite de Liquidez

Ensaio normatizado pela ABNT NBR 6459:1984, realizado a partir de uma secagem prévia das amostras ao ar, deste obtém o teor de umidade correspondente a 25 golpes, expresso em porcentagem e aproximado para o número inteiro mais próximo.

7.2.4 Limites de Plasticidades

Ensaio normatizado pela ABNT NBR 7180:1984, realizado a partir de uma secagem prévia das amostras ao ar. O resultado final foi determinado a partir da média de três valores obtidos em ensaios, é considerado satisfatório desde que estes não diferem mais que 5 % da média, expresso em porcentagem e aproximado para o número inteiro mais próximo.

O índice de plasticidade dos solos é obtido a partir da diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

7.3 Ensaio de Compactação

Este ensaio foi realizado sem reuso de material, para o solo in natura e para os solos com adição de cal nas dosagens de 2%, 4%, 6% e 8%, é normatizado pela norma ABNT NBR 7182:1986 que determina a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados. Utilizou-se o cilindro de 6 polegadas pois o ensaio de compactação foi realizado em conjunto com o de CBR, adotou-se a energia de compactação

normal, ou seja, 12 golpes e 5 camadas.

7.4 Ensaio de Índice Suporte Califórnia

Este ensaio foi realizado para o solo in natura e para os solos com adição de cal nas dosagens de 2%, 4%, 6% e 8%, é normatizado pela norma ABNT NBR 9895:1987 que determina o valor do I.S.C. e da expansão de solos, utiliza-se o material passante na peneira de 19 mm, com um mínimo de 5 corpos de prova.

7.5 Inderbitzen

Ensaio realizado com amostra indeformada do solo, possui a finalidade de simular um escoamento superficial sobre um corpo de prova afirma Jacintho (2006, p. 136-140); a vazão adotada foi de 50 ml/s, com uma inclinação de 10°, solo não saturado.

8 RESULTADOS

A Tabela 1 e 6 apresentam os resultados referentes à análise granulométrica do solo in

natura e com adição do defloculante de hexametáfosfato, e do solo com adição da cal nas dosagens de 2%, 4%, 6% e 8% com cura de 7 e 14 dias respectivamente; com os resultados obteve-se a classificação geotécnica segundo a Highway Research Board (H.R.B.) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (S.U.C.S.).

A Tabela 2 e 7 apresentam os resultados referentes aos ensaios de massa específica e os limites de Atterberg do solo in natura e do solo com dosagens de cal de 2%, 4%, 6% e 8% com uma cura de 7 e 14 dias respectivamente. Os parâmetros obtidos foram W (teor de umidade natural), Y (massa específica), Wl (limite de liquidez), Wp (limite de plasticidade) e I.P. (índice de plasticidade).

A Tabela 8 apresenta os resultados referentes aos ensaios dos limites de Atterberg do solo com dosagens de cal de 2%, 4%, 6% e 8% com uma cura de 28 dias.

A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de compactação e índice suporte califórnia do solo in natura e do solo com dosagens de cal de 2%, 4%, 6% e 8% com uma cura de 7 dias.

A Tabela 4 e 5 apresentam os resultados do ensaio de Inderbitzen do solo in natura.

Tabela 1. Resultados da Análise Granulométrica e Classificação Geotécnica do Solo Natural e com Cura de 7 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	Fração Granulométrica (%)				Classif. Geotécnica		
	A. Grossa	A. Média	A. Fina	Silte	Argila	H.R.B.	S.U.C.S.
In natura sem hexa	3,6	7,9	34,9	46,2	7,4	-	-
In natura com hexa	3,3	8,2	26,5	18,8	42,8	A – 6	CL
Solo com 2% de cal	6,0	19,4	41,2	21,1	11,9	A – 6	CL
Solo com 4% de cal	6,7	20,5	43,2	21,4	7,8	A – 6	CL
Solo com 6% de cal	8,5	28,4	44,4	17,6	0,7	A – 2 – 6	ML
Solo com 8% de cal	15,4	24,3	39,3	18,4	1,7	A – 2 – 4	ML

Tabela 2. Resultados dos ensaios para determinação do Teor de Umidade, Massa Específica e Limites de Consistências do Solo Natural e com Cura de 7 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	W (%)	Y (KN/m³)	Limites de Consistência		
			Wl (%)	Wp (%)	I.P. (%)
In natura com hexa	3,4	2,645	40	27	13
Solo com 2% de cal	24,0	2,715	35	22	13
Solo com 4% de cal	24,0	2,721	36	23	13
Solo com 6% de cal	23,5	2,730	38	27	11
Solo com 8% de cal	23,5	2,734	38	28	10

Tabela 3. Resultados dos ensaios de Compactação e Índice de Suporte Califórnia do Solo Natural e com Cura de 7 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	Compactação		Índice Suporte Califórnia	
	Y _{dmáx} (g/cm ³)	W _{ot} (%)	I.S.C. (%)	Expansão (%)
In natura com hexa	1,670	18,4	23,0	0,01
Solo com 2% de cal	1,550	22,4	28,0	0,18
Solo com 4% de cal	1,545	22,7	40,0	0,02
Solo com 6% de cal	1,562	22,1	92,0	0,03
Solo com 8% de cal	1,534	23,0	118,0	0,04

Tabela 4. Resultados do ensaio Inderbitzen.

Tempo (min)	Solo lavado (g)	Solo lavado acumulado (g)	Solo lavado (%)	Material total erodida acumulada (g)	Material total erodida acumulada (%)
1	1,25	1,25	0,186	11,44	1,70
2,5	0,17	1,42	0,211	12,99	1,93
5	0,06	1,48	0,220	13,54	2,02
7,5	0,22	1,70	0,253	15,55	2,32
10	0,17	1,87	0,278	17,11	2,55
15	0,12	1,99	0,296	18,21	2,71
20	0,22	2,21	0,329	20,22	3,01
30	0,1	2,31	0,344	21,13	3,15
40	0,17	2,48	0,369	22,69	3,38
50	0,02	2,50	0,372	22,87	3,41
60	0,02	2,52	0,375	23,06	3,43

Tabela 5. Resultados do ensaio Inderbitzen.

Umidade antes do ensaio (%)		15,98	Molde (g)		277,56
Umidade após o ensaio (%)	Topo	22,87	Massa do solo seco (g)		671,55
	Meio	24,84	Massa da água (g)		107,30
	Base	31,07	Massa total (g)		1056,41

Tabela 6. Resultados da Análise Granulométrica e Classificação Geotécnica do Solo Natural e com Cura de 14 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	Fração Granulométrica (%)				Classif. Geotécnica	
	A. Grossa	A. Média	A. Fina	Silte	Argila	H.R.B. S.U.C.S.
Solo com 2% de cal	5,7	19,4	45,0	20,9	8,6	A – 4 ML
Solo com 4% de cal	7,2	21,0	43,2	20,9	7,3	A – 4 ML
Solo com 6% de cal	8,8	24,8	46,6	17,0	2,2	A – 2 – 6 ML
Solo com 8% de cal	8,5	24,9	45,2	19,5	1,5	A – 2 – 4 ML

Tabela 7. Resultados dos ensaios para determinação do Teor de Umidade, Massa Específica e Limites de Consistências do Solo Natural e com Cura de 14 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	W (%)	Y (KN/m ³)	Limites de Consistência		
			W _l (%)	W _p (%)	I.P. (%)
Solo com 2% de cal	21,3	2,746	34	24	10
Solo com 4% de cal	21,9	2,757	35	26	9
Solo com 6% de cal	21,4	2,734	37	26	11
Solo com 8% de cal	21,0	2,747	37	27	10

Tabela 8. Resultados dos ensaios para determinação dos Limites de Consistências do Solo Natural e com Cura de

28 dias para as Misturas Solo-cal.

Solo	Limites de Consistência
------	-------------------------

	Wl (%)	Wp (%)	I.P. (%)
2% de cal	34	24	10
4% de cal	36	24	12
6% de cal	36	27	9
8% de cal	37	28	9

9 CONCLUSÕES

Verifica-se que o solo não possui parâmetros e características erosivas, o que comprova que a origem destes processos erosivos é devido à intervenção humana na natureza sem um planejamento urbano adequado para a região. O terreno de alta declividade concomitante com o desmatamento acelerado para o crescimento urbano são as causas primordiais destes processos erosivos, pois quando chove o solo não consegue absorver toda a água e começa a haver os sulcos de água, evoluindo para ravinas e voçorocas caso não haja uma intervenção para solucionar o problema. Observa-se também na região uma drenagem urbana mal projetada, no qual as águas das ruas advindas das chuvas nem sempre vão para os bueiros, dessa forma tem-se a agressão do solo. Através dos ensaios pode-se perceber o aumento da resistência do solo e a diminuição do índice de plasticidade, conforme a adição de cal; diagnosticou-se que a melhor dosagem de cal indicada para estabilização de processos erosivos é de 8%.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Eletrobras Furnas de Aparecida de Goiânia e a Universidade Federal de Goiás de Goiânia por ter cedido seus respectivos laboratórios para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457:1986 – Amostras de solo - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.
- _____. NBR 6459:1984 – Solo - Determinação do Limite de Liquidez.
- _____. NBR 6508:1984 – Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica.

- _____. NBR 7180:1984 – Solo - Determinação do Limite de Plasticidade.
- _____. NBR 7181:1984 – Solo - Análise Granulométrica.
- _____. NBR 7182:1986 – Solo - Ensaio de Compactação.
- _____. NBR 9895:1987 – Solo - Índice de Suporte Califórnia.
- ARAÚJO, Arielton Fonteles. (2009). *Avaliação de Misturas de Solos Estabilizados com Cal, em Pó e em Pasta, para Aplicação em Rodovias do Estado do Ceará*, Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 10/12p.
- AZEVEDO, André Luis Cairo. (2010). *Estabilização de Solos com Adição de Cal – Um estudo sobre a reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 20/22/23p.
- BAPTISTA, Ciro de Freitas Nogueira. (1976). *Pavimentação*, 2ª Edição, Porto Alegre, Editora Globo, 121-124p.
- BRANCO, F.; PEREIRA, P.; SANTOS, L. P. (2011). *Pavimentos Rodoviários*, 1ª Edição, São Paulo, Editora ALMEDINA, 64/65p.
- BUENO, Eduardo Suliman. (2011). *Estudo de Alguns Fatores que Podem Afetar a Durabilidade de Misturas Solo-Cal*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 33/35/39p.
- GONDIM, Lilian Medeiros. (2008). *Estudo Experimental de Misturas Solo-Emulsão Aplicado às Rodovias do Agropólo do Baixo Jaguaribe/Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 25-27 e 29p.
- GUIMARÃES, José Eptácio Passos. (2002). *A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil*, 2ª Edição, São Paulo, PINI, 179-198 e 214-222p.
- JACINTHO, E. C. et al. (2006). *Solos Tropicais e o Processo Erosivo*, In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, N. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.), *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*, Brasília, Universidade de Brasília, FINATEC, 136-140p.
- MARTINS, E. O. et al. (2006). Cadastro de Erosões, In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, N. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.), *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*, Brasília, Universidade de Brasília, FINATEC, 210-220p.
- SANTOS, J. (2004). *Estabilização de uma Argila Laterítica do Distrito Federal para uso em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego*, Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-127/04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 24 e 27-30p.
- SENÇO, Wlastermiller de. (2001). *Manual de Técnicas de Pavimentação*, Volume 2, 1ª Edição, São Paulo, PINI, 47/48p.