APLICAÇÃO DO MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO DE DOSAGEM DE MISTURAS SOLO-CIMENTO AOS SOLOS TÍPICOS DO NOROESTE DO PARANÁ

Rafael Vinícius Basso
Roberto Lopes Ferraz
Antonio Belincanta
Fabiano dos Santos Ramos.
Universidade Estadual de Maringá/Departamento de Engenharia Civil/Maringá/PR

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos com o emprego do Método Físico-Químico de dosagem de misturas solo-cimento aos solos típicos do noroeste paranaense. A adoção do Método Físico-Químico para os trabalhos de dosagens se deu em função deste ser método simples e rápido, tornando possível o estudo de um número maior de amostras de solo do que seria possível com a utilização de qualquer outro método clássico de dosagem.Os resultados obtidos foram analisados na forma comparativa, procurando relacionar os teores de cimento indicados pelas dosagens com os tipos de solos estudados. O estudo permitiu concluir, em linhas gerais, que amostras de solos provenientes de perfis típicos do arenito caiuá irão exigir no mínimo de 4 a 6% de cimento para sua estabilização, enquanto que para amostras de solos de perfis típicos do basalto, é de se esperar teores mínimos de cimento no intervalo de 8 a 10%. Para amostras de solos de perfis situados em regiões próximas ao contato entre o arenito e o basalto foram obtidos teores mínimos de cimento em torno de 8%.

1 – INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, o solo-cimento é um material obtido por meio da mistura homogênea de solo, cimento portland e água, em proporções adequadas e que, após compactação e cura úmida, resulta num produto com características de durabilidade e de resistência mecânica definidas (ABCP, 1986).

Segundo CHOU (1977), o teor de cimento necessário para a estabilização satisfatória de um solo depende do tipo de solo, sendo geralmente o teor de cimento uma função crescente com o teor de silte e argila do solo. Para um mesmo tipo de solo, verifica-se que um aumento na quantidade de cimento resulta em uma mistura compactada de maior resistência e durabilidade.

Embora qualquer tipo de solo possa ser, teoricamente, estabilizado com cimento, considera-se como adequado todo solo que possa ser tratado com uma quantidade de cimento economicamente competitiva, se comparada com outros estabilizantes. Neste aspecto, os solos granulares têm se mostrado bem mais eficientes que os argilosos, atingindo resistências mais elevadas, com menores teores de cimento.

O tipo de argilomineral presente no solo é também de considerável importância na estabilização com cimento. Neste aspecto, CROFT (1967), estudando o comportamento de diversos minerais argilosos com cimento, constatou que: a) solos cauliníticos e ilíticos são mais susceptíveis à estabilização com cimento, do que os solos que contêm grandes quantidades de argilominerais expansivos; b) solos muito argilosos são difíceis de serem estabilizados, exigindo grandes quantidades de cimento, no entanto, em algumas situações, um tratamento preliminar com cal e uma posterior adição de cimento podem conduzir a resultados aceitáveis; e c) sempre há redução no índice de plasticidade e aumento no limite de contração, quando da mistura de cimento ao solo.

2 - MECANISMOS DE REAÇÃO DA MISTURA SOLO-CIMENTO

Basicamente os mecanismos de reação da mistura solo-cimento se devem às reações dos constituintes anidros do cimento, que quando em presença de quantidade suficiente de água, se hidratam e endurecem, em virtude de processos químicos bastante complexos. Assim, o processo de estabilização do solo com o cimento é resultante do desenvolvimento de reações químicas no cimento em hidratação, a partir das quais se desenvolvem vínculos químicos entre as superfícies das partículas de cimento e as partículas de solo.

Segundo MOH (1962), em uma mistura solo-cimento, as reações podem ser representadas pelas equações qualitativas a seguir, onde são apresentadas somente as reações que envolvem o silicato tricálcico (C_3S), por ser este o constituinte do cimento responsável pela maior parcela de resistência observada:

a) Reações iniciais: Reações de hidratação do silicato tricálcico do cimento:
   - a.1) $C_3S + H_2O = C_3S_2H_X$ (gel hidratado) $+ Ca(OH)_2$
   - a.2) $Ca(OH)_2 = Ca^{++} + 2(OH)^-$

b) Reações com o solo: Reações entre a cal gerada na hidratação do cimento e os argilominerais do solo (reações pozolânicas):
   - b.1) $Ca^{++} + 2(OH)^- + SiO_2$ (sílica do solo) = CSH
   - b.2) $Ca^{++} + 2(OH)^- + Al_2O_3$ (alumina do solo) = CAH

c) Se ocorrer queda no pH da mistura, a reação caminha no seguinte sentido:
   - c.1) $C_3S_2H_X$ = CSH + cal (Obs.: o CSH é um composto mais fraco que o $C_3S_2H_X$)

O silicato de cálcio hidratado ($C_3S_2H_X$) é o produto final da hidratação tanto do C_3S como do C_2S, sendo que, aquele originado do C_3S é estável somente em soluções saturadas de hidróxido de cálcio, com pH variando de 12,34 a 12,20, enquanto que o proveniente do C_2S é estável em soluções com pH igual a 11 (PITTA et al., 1988).

Se o pH abaixar, o silicato de cálcio hidratado $C_3S_2H_X$ deixa de ser estável e ocorre a reação mostrada em (c.1). Nesta reação forma-se o CSH, que apesar de ser também um silicato de cálcio hidratado, no entanto apresenta características de cristalização e de resistência mecânica diferenciadas do $C_3S_2H_X$, devido às condições do meio em que se forma (baixo pH). Assim, com a queda do pH da mistura, forma-se o CSH, com o consumo de parte do $C_3S_2H_X$, que é o composto responsável pela maior parte da resistência da mistura solo-cimento.

Segundo CROFT (1967), as principais causas da queda do pH em uma mistura de solo-cimento são as reações entre a cal gerada na hidratação do cimento e os argilominerais do solo, representadas em (b.1) e (b.2), e que são mais pronunciadas em solos argilosos. Por isto, à medida que os solos tornam-se mais finos (mais argilosos e reativos com a cal), a contribuição das reações pozolânicas (mais pronunciadas nos solos finos) para a resistência final da mistura se dá às custas do consumo de um composto cimentante mais resistente que aquele originado pelas reações pozolânicas. Conseqüentemente, uma mesma quantidade de cimento resultará em uma resistência mais elevada em solos de características arenosas, do que em solos predominantemente argilosos.

3 – MÉTODOS DE DOSAGENS

Em uma mistura solo-cimento, apesar do cimento ser o principal responsável pela cimentação do material, dando resistência e durabilidade à mistura, a água é necessária para permitir as reações de hidratação do cimento, aumentar a trabalhabilidade, permitir a obtenção de uma boa compactação e propiciar condições de cura adequada. A qualidade final de um solo-cimento não só depende dos processos de mistura, de compactação e de cura, mas também das proporções utilizadas de cimento, de solo e de água, as quais são determinadas através da utilização de um método adequado de dosagem.

No Brasil geralmente as dosagens são feitas com base nas normas da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1986), e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1990). No entanto, para determinados tipos de aplicações, os métodos citados têm a desvantagem de necessitarem de uma grande quantidade de amostra, de tempo de dosagem relativamente longo, além de pessoal técnico especializado para execução dos ensaios de caracterização, compactação, moldagem de corpos-de-prova, ensaios de durabilidade e ensaios de resistência à compressão. Assim, visando contornar essas dificuldades foram propostos inúmeros outros métodos para dosagem de misturas solo-cimento, dentre os quais cita-se o Método Físico-Químico.

O Método Físico-Químico para dosagem de misturas solo-cimento é um método simples e rápido, fundamentado na interação elétrica entre as partículas de cimento e de argila do solo e foi proposto pelo "Central Road Research Institute of India" (CHADDA, 1971). Segundo CHADDA (1971), em uma mistura solo-cimento, as partículas de cimento comportam-se como eletricamente carregadas, e sua presença no solo aumenta a condutividade elétrica da massa. A interação elétrica do cimento em hidratação e as partículas coloidais de argila, carregadas negativamente, produzem rápidas alterações físico-químicas, resultando em uma substancial variação volumétrica da mistura solo-cimento quando esta se encontra em suspensão aquosa. A partir dessas variações volumétricas que ocorrem durante o processo de interação do solo com o cimento, pode-se determinar o menor teor de cimento que leva a uma mistura estável. O aumento gradual no volume da suspensão do solo-cimento, causado pela rápida interação do cimento com as partículas de solo, prossegue até o ponto em que a concentração de cimento atinge o limite de saturação requerido para produzir uma mistura estável. O teor de cimento que produz a máxima variação volumétrica na suspensão de um determinado solo-cimento é aceito como sendo o mínimo requerido para estabilização deste solo.

4 – MATERIAIS E MÉTODO DE ENSAIO

4.1 – Os solos

Este trabalho utilizou os solos tropicais do Noroeste do Paraná, caracterizados por Dal Seco et al. (2001). Em função disto foram colhidas amostras, em diferentes profundidades, em perfis típicos de solos originários do arenito caiuá (região das cidades de Paraíso do Norte e Cidade Gaúcha) e em solos originários de rochas de basalto (região de Maringá e Sarandi).

O preparo das amostras e a realização dos ensaios rotineiros de caracterização foram feitos em conformidade com as normas específicas da ABNT.

4.2 – Procedimento de dosagem segundo o Método Físico-Químico

O procedimento de dosagem utilizado foi aquele recomendo por CASANOVA et al (1992), descrito a seguir, sendo que no caso desta pesquisa foram feitas somente duas determinações do teor mínimo de cimento para cada amostra:

a) utilizar, em média, sete provetas de 250ml, identificando-as pelos teores de cimento a serem estudados. Nesta pesquisa as provetas foram identificadas pelos teores de 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% e 12%.

b) colocar 20g de solo, seco ao ar, destorroado e passado na peneira nº 10 (2 mm), em cada proveta;

c) adicionar quantidades crescentes de cimento, em porcentagem de peso de solo seco, nas respectivas provetas;

d) misturar o solo e o cimento ainda secos, agitando as provetas;

e) colocar aproximadamente 50ml de água destilada e agitar as provetas, até que ocorra a homogeneização completa da mistura;

f) completar o volume para 100ml, lavando as paredes das provetas, e colocá-las em repouso absoluto sobre uma superfície livre de vibração, até o dia seguinte (foi adotado, neste trabalho, um período de 24 horas). Caso haja dispersão do solo na água (proveta de 0% de cimento), deve-se adicionar algumas gotas de ácido clorídrico, antes de completar o volume, a fim de flocular a argila, permitindo assim uma melhor definição de leitura;

g) no dia seguinte, agitar a mistura durante 30 segundos com o auxílio de um bastão de plástico rígido (baquelite), em movimentos circulares firmes e rápidos até que a mistura fique homogênea;

h) no mínimo 2 horas após ter sido feita a operação anterior, fazer a leitura do volume ocupado pelo sedimento;

i) no terceiro dia, agitar e fazer a leitura do volume novamente, no tempo de no mínimo 2 horas após a agitação da mistura;

j) repetir essa operação todos os dias, até serem obtidas leituras constantes ou decrescentes;

k) montar uma tabela com os teores de cimento e as leituras feitas diariamente;

l) calcular a variação volumétrica porcentual (%ÄV) do sedimento solo-cimento, em relação àquela do solo puro (0% de cimento), para os diversos teores de cimento, escolhendo para cálculo o maior volume obtido para cada teor, de acordo com a equação 1;

$$\Delta V(\%)_{(teor)} = \frac{V_{máx(teor)} - V_{máx(0\%)}}{V_{máx(0\%)}} \qquad (1)$$

onde

$\Delta V(\%)_{(teor)}$ = percentual da variação volumétrica;

$V_{máx\ (teor)}$ = volume máximo para cada teor de cimento;

$V_{máx\ (0\%)}$ = volume máximo para o teor de cimento de 0%.

m) construir um gráfico ÄV (%) versus teor de cimento. O ponto de máxima variação volumétrica corresponde ao teor mínimo de cimento requerido para a estabilização físico-química do solo.

5 – RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios realizados nas amostras de solos provenientes do arenito caiuá (amostras de três perfis situados em regiões diferentes) e de rocha basáltica (amostras de dois perfis também situados em regiões diferentes), são apresentados em forma de tabelas e gráficos como relatado a seguir.

Na Tabela 1 são apresentadas as amostras utilizadas nos ensaios, diferenciando-as pela procedência, caracterização pedológica, perfil e profundidade de coleta, enquanto que na Tabela 2, para estas mesmas amostras, são apresentadas as características obtidas através dos ensaios convencionais de caracterização, realizados em laboratório de solos.

Tabela 1– Identificação das amostras utilizadas

Rocha de origem	Local de procedência	Perfil	Classificação	Amostra	Profundidade (cm)
Arenito Caiuá	Cidade Gaúcha	AC-1	Latossolo Vermelho Distrófico *(Latossolo Vermelho Escuro, Arenoso)*	A	0,13 – 0,50
				B	0,50 – 1,40
				C	1,40 – 2,00
	Paraíso do Norte*	AC-2	Latossolo Vermelho Distrófico (Latossolo Vermelho Escuro, Argiloso)	A	0,00 – 0,20
				B	0,20 – 0,65
				C	1,20 – 1,65
	Cidade Gaúcha	AC-3	Argissolo Vermelho Distrófico (Podzólico Vermelho Escuro)	A	0,00 – 0,12
				B	0,12 – 0,40
				C	0,75 – 1,60
Basalto	Maringá (Bosque 2)	BA-1	Nitossolo Vermelho Distroférrico (Terra Rocha Estruturada)	A	0,20 – 0,50
				B	0,50 – 1,15
				C	1,15 – 1,65
				D	1,65 – 2,00
	Sarandi (Rod. 369, km 188)	BA-2	Latossolo Vermelho Distroférrico (Latossolo Roxo)	A	0,10 – 0,30
				B	0,30 –0, 60
				C	0,60 – 1,40
				D	1,40 – 2,00

* Coleta próxima ao contato entre arenito caiuá e basalto.

Tabela 2 – Caracterização geotécnica das amostras de solos

Rocha de origem	Perfil	Amostra	Limites			γ_s (g/cm^3)	Granulometria			Classificação
			LL (%)	LP (%)	IP (%)		Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	
Arenito Caiuá	AC-1	A	-	-	NP	2,700	17	5	78	*Areia argilosa pouco siltosa*
		B	26	15	11	2,697	26	3	71	*Areia argilosa pouco siltosa*
		C	-	-	NP	2,654	22	4	74	*Areia argilosa pouco siltosa*
	AC-2	A	-	-	NP	2,940	37	19	44	*Areia muito argilosa siltosa*
		B	36	20	16	2,935	44	14	42	*Argila muito arenosa siltosa*
		C	41	25	16	2,789	46	13	41	*Argila muito arenosa siltosa*
	AC-3	A	-	-	NP	2,673	6	7	87	*Areia pouco silto-argilosa*
		B	-	-	NP	2,686	14	7	79	*Areia argilosa pouco siltosa*
		C	36	18	18	2,698	32	6	62	*Areia argilosa pouco siltosa*
Basalto	BA-1	A	60	36	14	2,920	73	14	13	*Argila silto-arenosa*
		B	61	39	22	2,926	67	18	15	*Argila silto-arenosa*
		C	61	39	22	3,010	-	-	-	*Argila silto-arenosa*
		D	58	36	22	3,010	-	-	-	*Argila silto-arenosa*
	BA-2	A	63	37	26	3,032	72	20	8	*Argila siltosa pouco arenosa*
		B	65	44	21	3,031	73	22	5	*Argila siltosa pouco arenosa*
		C	62	42	20	2,983	69	19	12	*Argila siltosa arenosa*
		D	57	42	15	3,038	50	15	35	*Argila muito arenosa siltosa*

Com base nos resultados da Tabela 2, percebe-se que as amostras de solo originárias do arenito caiuá possuem maior fração areia em sua constituição do que aquelas provenientes do Basalto, o que se reflete inclusive em seus limites de consistência.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de variação de volume em função dos teores de cimento, obtidas pela aplicação do método físico-químico nas amostras do perfil AC-1 (arenito caiuá). Observam-se picos de variação volumétrica em torno de 6% de cimento para as amostras A e C e de 4% para a amostra B, apesar desta última apresentar um teor de argila um pouco superior às outras duas amostras.

A Figura 2 evidencia que os picos de variação volumétrica, para as amostras do perfil AC-2, ocorreram em torno de 10% de cimento para a amostra A, de 8% a 10% para as amostras B e de 8% para a amostra C. Este aumento do teor de cimento, em relação às amostras do perfil AC-1, pode ser justificado pelo acréscimo da porcentagem de argila das amostras do perfil

AC-2, resultando, como esperado, em um acréscimo do teor mínimo de cimento necessário para a estabilização destas amostras de solo.

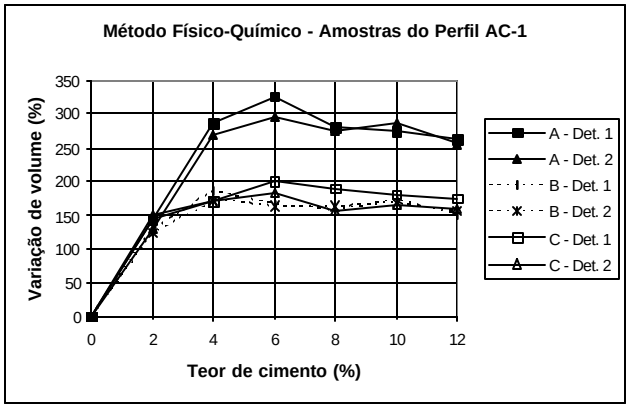

Figura 1 – Resumo da Dosagem Físico-Química das Amostras do Perfil AC-1 (Arenito Caiuá)

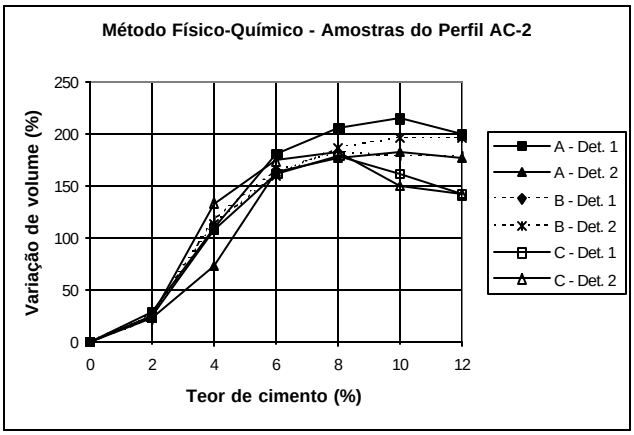

Figura 2 – Resumo da Dosagem Físico-Química das Amostras do Perfil AC-2 (Arenito Caiuá)

Quanto à dosagem físico-química para as amostras do perfil AC-3, cujos resultados são mostrados na Figura 3, pode-se dizer que a mesma apresentou picos de variação volumétrica em torno de 4% de cimento para a amostra A e de 6% para as amostras B e C. Estes resultados assemelham-se àqueles obtidos com as amostras do perfil AC-1, apesar da amostra C (32% argila) apresentar um teor de argila próximo ao da amostra A do perfil AC-2 (37% argila).

Na Figura 4 são apresentadas as variações volumétricas, provenientes da aplicação do método de dosagem físico-químico às amostras do perfil BA-1 (solo proveniente de rocha basáltica). Foram obtidos picos de variação volumétrica em torno de 8% de cimento para a amostra A e de 10% para as amostras B, C e D. Estes teores evidenciam o caráter argiloso destas amostras de solo, fazendo com que os teores de cimento obtidos sejam mais elevados do que aqueles das amostras dos solos originárias do arenito caiuá, que são tipicamente arenosas.

Quanto aos teores cimento para as amostras do perfil BA-2, apresentados na Figura 5, foi obtido para todas as amostras o mesmo o teor mínimo de cimento de 10%. Como no caso das

amostras do perfil BA-1, este valor evidencia o caráter argiloso das mesmas que demanda maiores quantidades de cimento em relação às amostras tipicamente arenosas.

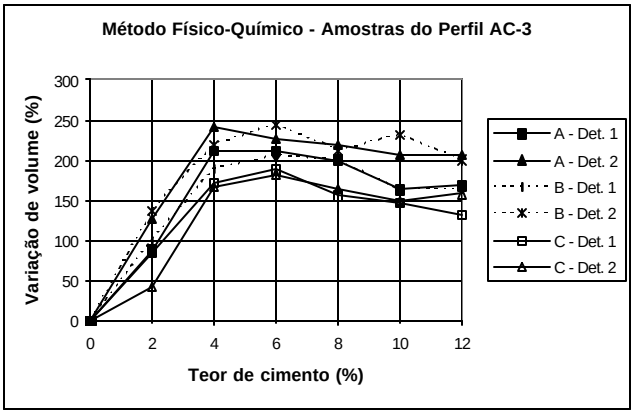

Figura 3 – Resumo da Dosagem Físico-Química das Amostras do Perfil AC-3 (Arenito Caiuá)

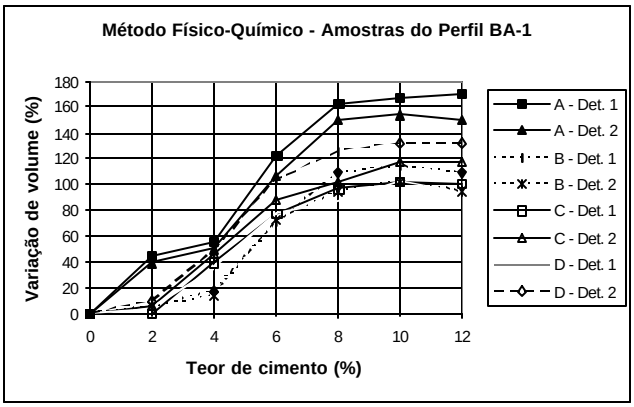

Figura 4 – Resumo da Dosagem Físico-Química das Amostras do Perfil BA-1 (Basalto)

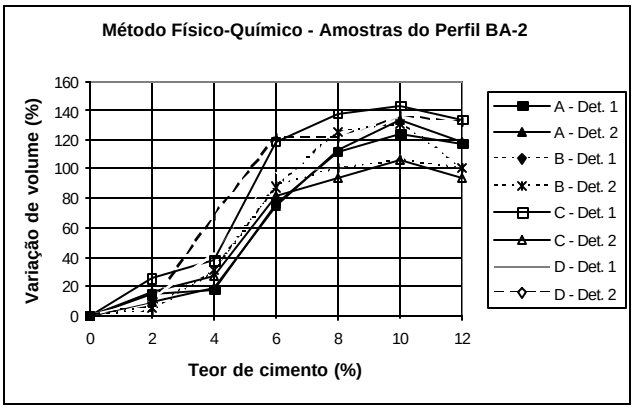

Figura 5 – Resumo da Dosagem Físico-Química das Amostras do Perfil BA-2 (Basalto)

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados da dosagem físico-química para todas as amostras de solo estudadas.

Segundo os valores constantes na mesma, observa-se, como era esperado inicialmente, que em geral as amostras originárias do arenito caiuá (com predominância da fração arenosa) requerem uma menor quantidade de cimento para a sua estabilização, do que as amostras de solos provenientes de basalto. No entanto, as amostras de solo pertencentes ao perfil AC-2, apesar de originárias do arenito caiuá, necessitam de um pouco mais cimento para sua estabilização, do que as demais amostras dos outros dois perfis (AC-1 e AC-3) da mesma rocha de origem. Tal comportamento, como se pode ver pelas observações na Tabela 1, provavelmente se deve ao fato da localização deste perfil estar próximo ao contato entre as duas rochas, o que resulta em uma contribuição de ambas as rochas nas características dos solos formados.

Com base nos resultados obtidos e para a região de abrangência do estudo efetuado, pode-se dizer que amostras de solos provenientes de perfis típicos do arenito caiuá irão exigir no mínimo de 4 a 6% de cimento para sua estabilização. Para amostras de solos de perfis situados em regiões próximas ao contato do arenito caiuá com o basalto é de se esperar um teor mínimo de cimento em torno de 8%. No caso de amostras de solos provenientes de perfis típicos do basalto, o teor mínimo de cimento esperado para sua estabilização situa-se no intervalo de 8 a 10%.

Tabela 3 – Resumo dos resultados da Dosagem Físico-Química

Rocha de origem	Perfil	Classificação	Obs	Amostra	Profundidade (m)	Teor de cimento mínimo (%)
Arenito Caiuá	AC-1	Latossolo Vermelho Distrófico	----------	A	0,13 – 0,50	6
				B	0,50 – 1,40	4
				C	1,40 – 2,00	6
	AC-2	Latossolo Vermelho Distrófico	Coleta próxima ao contato entre o arenito caiuá e o basalto	A	O,00 – 0,20	10
				B	0,20 – 0,65	8
				C	1,20 – 1,65	8
	AC-3	Argissolo Vermelho distrófico	----------	A	0,00 – 0,12	4
				B	0,12 – 0, 40	6
				C	0,75 – 1,60	6
Basalto	BA-1	Nitossolo Vermelho Distroférrico	----------	A	0,20 – 0,50	8
				B	0,50 – 1,15	10
				C	1,15 – 1,65	10
				D	1,65 – 2,00	10
	BA-2	Latossolo Vermelho Distroférrico	----------	A	0,10 – 0,30	10
				B	0,30 – 0,60	10
				C	0,60 – 1,40	10
				D	1,40 – 2,00	10

5 – DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Tomando como base os resultados obtidos na região de abrangência deste estudo, pode-se concluir em linhas gerais que amostras de solos provenientes de perfis típicos do arenito caiuá irão exigir no mínimo de 4 a 6% de cimento para sua estabilização. No entanto, quando se

tratar de amostras de solos de perfis situados em regiões próximas ao contato com o basalto, é de esperar um teor mínimo de cimento em torno de 8%. Já, no caso de amostras de solos provenientes de perfis típicos do basalto, os teores mínimos de cimento necessários para sua estabilização, variam no intervalo de 8 a 10%.

Cabe lembrar, que o teor de cimento indicado pelo método físico-químico, é consensualmente aceito como sendo o menor teor de cimento capaz de estabilizar o tipo de solo que está sendo ensaiando, devendo este teor ser confirmado pelos métodos normatizados de dosagens, quando da aplicação dos solos em obras de engenharia.

Outro fato que pode ser constatado nos resultados mostrados na Tabela 3 é que, apesar das variações granulométricas dentro das amostras de um mesmo perfil, isto não influenciou significativamente os teores de cimento obtidos pelo método físico-químico, cujas diferenças de resultados estão dentro da faixa de precisão do método, não se podendo, a princípio, atribuí-las somente às variações granulométricas observadas.

Como o teor de cimento indicado pelo método físico-químico pode não conduzir à resistência e à durabilidade da mistura, exigidos para o tipo de aplicação desejado, uma vez que o mesmo simplesmente fornece o mínimo teor necessário para a satisfação físico-química do solo, logo, recomenda-se que o método em questão seja aplicado em uma fase preliminar de estudo para a seleção do solo mais propício à estabilização com cimento. Em função disso, recomenda-se que após a escolha do solo de acordo com o método físico-químico, se proceda à avaliação da resistência e da durabilidade da mistura através dos ensaios convencionais, tendo como ponto de partida teor obtido na dosagem físico-química. Desta maneira, o método físico-químico é perfeitamente viável de ser utilizado em uma fase preliminar de estudos de dosagem de misturas solo-cimento, cujos teores obtidos poderão servir não só como critério de escolha de um solo para aplicação em solo-cimento, mas também como ponto de partida para os estudos de resistência e durabilidade, quando da aplicação dos métodos tradicionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (1986). Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem. 3. ed. rev. atual. São Paulo, 51p. (Estudo técnico, 35).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 1336 (1990) – Dosagem de misturas solo-cimento para emprego em pavimentação.

CASANOVA, F. J.; CERATTI, J. A. RODRIGUES, M. G. M. (1992) Procedimento para dosagem físico-química do solo-cimento. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 26, Aracaju, 1992, Anais, Aracaju, ABPV, p. 82-86.

CHADDA, L. R. (1971) A rapid method of assessing the cement requirement for the stabilization of soils. Indian Concrete Journal, 45 (7): 298-314.

CROFT, J. B. (1967) The influence of soil mineralogical composition on cement estabilization. Geotechnique, 17: 119-135.

DAL SECO, M. P., NUNES, I. H. S., NÓBREGA, M. T. (1991) Correlação entre Propriedades Pedológicas e Geotécnicas de Solos Tropicais do Noroeste Paranaense. Relatório Final de Projeto PIBIC/CNPq, Universidade Estadual de Maringá.

CHOU, Y. T. (1977) Soil stabilization. In: ENGINEERING BEHAVIOR OF PAVEMET MATERIALS: State-of-the-art. s. 1., U. S. Army Engineer Water-ways Experiment Station, Soils and Pavement Laboratory, Cap. 5, não paginado.

MOH, Z. C. (1962) Soil stabilization with cement and sodium additives. Journal of the Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineering, Vol. 88, nº SM6, December.

PITTA, M. R., CARVALHO, M. D. E RODRIGUES, P. P. F. (1988) Materiais para pavimentos de concreto simples, Estudo Técnico 47, ABCP, São Paulo. 172p.