

Estudos experimentais de um solo aditivado com cimento Portland para aplicação em camadas de pavimentos

Guilherme Bravo de Oliveira Almeida ^{a,1}, Michéle Dal Toé Casagrande ^{b,2} e Erinaldo Hilario Cavalcante ^{c,3}

^{a,b} *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio*

^c *Universidade Federal de Sergipe - UFS*

Resumo. Este trabalho apresenta resultados de pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal de Sergipe em parceria com a PUC-Rio utilizando solo de característica areno-argilosa da região de Sergipe estabilizado com cimento Portland CP V-ARI numa proporção de 0, 3, 5, 7 e 9%, com o objetivo de avaliar se o aditivo causará melhorias na matriz do solo natural. O solo natural foi submetido aos ensaios de caracterização (análise granulométrica, limites de Atterberg e massa específica dos grãos), compactação (Proctor Intermediário) e resistência à compressão simples. Ao solo natural foram adicionados os teores de cimento e as misturas foram submetidas aos ensaios de compactação, resistência e limites de Atterberg. Os resultados permitiram concluir que a adição de cimento tende a diminuir a umidade ótima, aumenta a resistência, altera a ação modificadora para aglutinadora das partículas do solo e reduz fortemente a plasticidade.

Palavras-chave. Estabilização de Solos, Cimento Portland, Ensaios Laboratoriais

1. Introdução

Segundo Bernucci et al. [1] o pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, constituída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Composto aquelas camadas, os solos são os materiais universalmente empregados para resistir a tais esforços solicitados.

Entretanto, os materiais encontrados na natureza nem sempre atendem às características mínimas para a função a que se destinam, sendo, então, necessário tomar decisões mais indicadas e que irão contemplar uma das seguintes alternativas, segundo Lambe & Whitman [2]: abandonar o local e optar por outro com solo apropriado; eliminar o solo indesejado e substituí-lo por outro com características adequadas; adaptar o projeto às

¹ Doutorando em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio e-mail: gbravo1982@gmail.com

² Professora do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, e-mail: michele_casagrande@puc-rio.br

³ Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS, e-mail: erinaldo@ufs.br

condições existentes ou modificar as propriedades do solo para melhorar seu comportamento, segundo os padrões da engenharia.

Considerando fatores de ordem técnica, econômica e ambiental, os três primeiros requisitos citados acima podem tornar-se menos atrativos, optando-se pela modificação das propriedades do solo, o que é designado de estabilização ou melhoramento de solos. A estabilização de solos visa, sobretudo, a melhoria das suas propriedades mecânicas e a manutenção das suas características ao longo do tempo. Dentre os métodos disponíveis, estabilização química dos solos é uma prática consagrada na construção de pavimentos, e os aditivos comumente utilizados para este fim são o cimento Portland, cal, emulsão e cinzas.

Vargas [3] designa estabilização de solos como o processo que confere ao solo uma maior resistência estável às cargas ou desgaste ou à erosão, através da compactação, correção granulométrica e de sua plasticidade ou da adição de substâncias que lhe confiram uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação dos seus grãos.

Na estabilização com cimento, segundo Concha [4], se desenvolvem reações químicas do cimento hidratado, no qual são desenvolvidos vínculos químicos entre a superfície dos grãos de cimento hidratado e a parte da partícula de solo em contato com o grão de cimento.

É natural que as características da estabilização estejam muito relacionadas com o comportamento e qualidade do solo, por ser o componente de maior quantidade e o mais heterogêneo da mistura solo-cimento. Para tanto, é fundamental conhecer quais solos são mais adequados à estabilização com cimento, uma vez que, segundo Ceratti [5], qualquer solo pode ser melhorado com cimento, a exceção daqueles ricos em húmus e mica. No entanto, afirma o autor, solos arenosos de boa graduação e com plasticidade média a baixa são os mais suscetíveis a serem estabilizados com cimento, por requererem baixos teores do aditivo. Por outro lado, os solos com elevada plasticidade são problemáticos já que requerem além de maiores teores de cimento, energéticos equipamentos misturadores.

Não existem restrições ao tipo de cimento a ser usado na estabilização de solos. Entretanto, Jung et al. [6] concluíram que a escolha do agente cimentante irá influenciar a resistência mecânica. Para uma mistura com areia de Osório e cimento Portland composto (CP II-E) a resistência à compressão média foi 16% superior à observada para o cimento pozolânico (CP IV). A resistência da mistura com cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) foi 36% superior ao do CP II-E e 58% superior ao do CP IV.

Das reações químicas promovidas pelo cimento, são nas reações de hidratação que estão a origem do endurecimento da mistura solo-cimento. Concha [4] descreve que em solos coesivos, o cimento a hidratar-se desenvolve fortes pontes entre partículas do solo formando uma matriz que o encaixa dentro dele. Essa matriz é muito efetiva na fixação das partículas, tal que elas não podem deslizar uma em relação às outras. Assim, o cimento não só destrói a plasticidade, como ainda promove um incremento na resistência ao cisalhamento.

A qualidade da mistura final de solo e cimento depende de muitos fatores, pois podem influenciar diretamente na sua resistência. Segundo Marangon [7], a literatura técnica tem considerado como sendo relevantes alguns fatores: granulometria do solo, grau de compactação, tipo e tempo de cura associado à temperatura, tempo entre a mistura e sua compactação, quantidade de água na hidratação do cimento, a homogeneização da mistura e a quantidade de cimento (e.g. ENAMORADO [8]; CRUZ [9]; MACÊDO [10]; FOPPA [11]; PORTELINHA, et al. [12]; JUNG et al. [6], MAKUSA [13]).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o ganho de resistência à compressão simples e a influência da redução da plasticidade com o aumento do teor de cimento, empregando-se solos tipicamente encontrados no Estado de Sergipe.

2. Materiais e Métodos

O solo areno-argiloso utilizado para o estudo foi coletado no município de São Cristóvão, Estado de Sergipe, Região Nordeste do Brasil, nas coordenadas geográficas Latitude 10° 58' 36" S e Longitude 37°14'16,3" W. O cimento Portland usado na estabilização foi o CP V-ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial).

- Preparação e caracterização do solo

O solo coletado passou por uma secagem prévia ao ar, destorroamento, quarreamento e preparado segundo a norma DNER-ME 041/94 [14]. Para a caracterização e classificação foram realizados dois ensaios (E.1 e E.2) de cada um destes: densidade real (DNER-ME 093/94 [15]), análise granulométrica (DNER-ME 051/94 [16]), limite de liquidez (DNER-ME 082/94 [17]) e limite de plasticidade (DNER-ME 122/94 [18]), obtendo-se a média entre eles. Na etapa da sedimentação, a amostra de solo foi deixada em repouso na solução de hexametáfosfato de sódio (defloculante), conforme descreve a norma de análise granulométrica.

- Compactação do solo e da mistura de solo e cimento Portland

As relações umidade versus massa específica aparente seca foram determinadas seguindo a norma DNER-ME 129/94 [19], com a energia de compactação intermediária de 26 golpes por camada. Nas misturas solo e cimento foi seguida a norma DNER-ME 216/94 [20] aplicado ao método B, quando usado material que passa na peneira de 19 mm e quando parte da amostra fica retida na peneira de 4,8 mm. Dessas relações foram considerados aceitáveis os valores que não ultrapassaram os limites de $\pm 5\%$ da média dos resultados dos dois ensaios realizados (E.1 e E.2). Apesar de a norma DNER-ME 216/94 [20] descrever a energia normal para solo-cimento, foi utilizada a energia intermediária, uma vez que esta pesquisa faz parte de um estudo experimental no qual será misturada ao solo-cimento porcentagens de resíduos de cobre pós-jateado caracterizando, portanto, uma estabilização granulométrica. Segundo a norma DNIT 139/2010 – ES [21] a energia mínima requerida é a intermediária.

- Moldagem e cura dos corpos de prova

As condições requeridas para a moldagem de corpos de prova cilíndricos foram seguidas pela norma DNER-ME 202/94 [22], conforme o método B, quando usado material que passa na peneira de 19 mm e quando parte da amostra fica retida na peneira de 4,8 mm. Baseado na justificativa descrita no item acima, a moldagem também foi realizada na energia intermediária. O período de cura dos corpos de prova foi de sete dias em câmara úmida a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

- Resistência à compressão simples (RCS)

Como parâmetro normativo para o ensaio à compressão simples foi utilizada a norma DNER-ME 201/94 [23]. A prensa utilizada foi a Máquina Universal de Ensaios, eletrodinâmica e microprocessada DL 20000 da EMIC Equipamentos e Sistemas de

Ensaio. O software para aquisição de dados foi o TESC, desenvolvido pela mesma empresa citada e acompanha a máquina de ensaio. Para o ensaio de compressão foram considerados aceitáveis os valores que não ultrapassaram os limites de $\pm 10\%$ da média dos resultados dos três ensaios realizados (E.1, E.2 e E.3).

Como forma de avaliar a perda da plasticidade do solo por conta da adição do cimento, os corpos de prova, após o rompimento, foram previamente secos, destorroados e repartidos numa quantidade suficiente para determinação dos limites de liquidez e plasticidade, segundo as respectivas normas.

3. Resultados e Discussões

• Ensaio com solo natural

Os resultados da granulometria, dos limites de Atterberg, do teor de umidade ótima, da massa específica aparente seca máxima, da resistência à compressão simples e as classificações, segundo a *Transportation Research Board (TRB)* e *Unified Soil Classification System (USCS)* extraídas do manual do DNIT (2006, [24]) estão apresentados na Tabela 1.

A granulometria média, segundo a AASHTO, revelou as seguintes porcentagens: 28,37% pedregulho, 49,85% areia, 7,12% silte e 14,66% argila, caracterizando um solo areno-argiloso. As características dos solos do grupo A-2-6 são porcentagens entre 15 e 35% de material passando na #200, porção de finos contendo argila plástica e IG variando de 0 a 4. Para o grupo SC, os solos são caracterizados como arenosos com finos argilosos cuja plasticidade pode ser baixa a alta, refletindo mais no comportamento do solo do que na composição granulométrica (DNIT, 2006 [24]).

Tabela 1. Resultados da caracterização e ensaios mecânicos do solo natural.

		Peneira	E. 1	E. 2			
granulometria	% que passa da amostra total	2"	100	100			
		1 ½ "	100	100			
		1"	98,49	100			
		¾ "	97,64	98,40			
		⅜ "	88,31	90,91			
		n° 4	80,29	83,94			
		n° 10	69,88	73,36			
		n° 16	64,23	67,38			
		n° 30	50,38	52,49			
		n° 40	42,42	43,98			
		n° 60	32,91	34,17			
		n° 100	25,28	26,62			
		n° 200	21,20	22,35			
							E. 1
Limite de Liquidez (%)					34	35	-
					34*		
Limite de Plasticidade (%)					18	18	-
					18*		
Índice de Plasticidade (%)					16		
h _{ótima} (%)					9,0	8,8	-
					8,9*		
γ _{dmáx} (KN/m ³)					21,21	20,92	-
					21,07*		
RCS (MPa)					0,72	0,90	0,90
					0,90*		
TRB					A-2-6 (0)		
USCS					SC		

* média dos valores obtidos nos respectivos ensaios

No ensaio de compactação, os dois ensaios apresentaram baixa variação, menos do que o limite de $\pm 5\%$. No entanto, no ensaio de resistência à compressão simples o Ensaio 1 ultrapassou o limite de $\pm 10\%$, não sendo considerado no valor da média dos resultados. Como esse solo apresenta variações percentuais de cada fração, não há como induzir um resultado para a RCS. Mesmo nos Ensaio 2 e 3 estes apresentarem o mesmo valor

de resistência, isso aconteceu ao acaso, diferenciando muito do Ensaio 1. Essa diferença de valores pode ser atribuída ao momento da moldagem, onde a fração mais grossa do solo concentra-se numa região do corpo de prova que pode influenciar bastante na resistência do solo.

- Ensaio com as misturas solo e cimento Portland

Os resultados em termos de umidade ótima, da massa específica aparente seca máxima e da resistência à compressão simples para os diferentes teores de cimento adicionados estão reunidos na Tabela 2.

Dos ensaios de compactação com a mistura de solo e cimento nota-se que não há uma diferença de massa específica aparente seca máxima entre os teores de cimento, isso porque não houve tempo suficiente para que ocorressem as reações do cimento e as partículas do solo. Nota-se também, em relação à umidade ótima, uma tendência de diminuição dessa umidade, mesmo com o aumento do teor de cimento que, por ser hidrofílico, exigiria uma maior quantidade de água. Devido a essa variação no teor de umidade para cada porcentagem de cimento, houve uma dificuldade em moldar os corpos de prova na umidade ótima, ficando as médias das umidades de moldagem variando 0,1 a 0,4% em relação às médias das umidades ótimas.

Tabela 2. Resultados dos ensaios mecânicos da mistura solo e cimento Portland, aos sete dias de cura.

Teores de Cimento (%)	Compactação				Resistência à Compressão Simples					
	h _{ótima} (%)		γ _{d máx} (KN/m ³)		h moldagem (%)			RCS (MPa)		
	E. 1	E. 2	E.1	E. 2	E. 1	E. 2	E. 3	E. 1	E. 2	E.3
0	9,0	8,8	21,21	20,92	9,0	8,2	8,6	0,72	0,90	0,90
	8,9*		21,07*		8,6*			0,90*		
3	8,8	9,0	21,07	21,18	8,5	8,6	8,6	1,07	1,08	1,00
	8,9*		21,12*		8,6*			1,05*		
5	8,8	8,8	21,43	21,50	8,4	8,4	8,5	1,31	1,19	1,15
	8,8*		21,46*		8,4*			1,22*		
7	8,6	8,6	21,15	21,31	8,4	8,4	8,6	1,78	1,94	1,97
	8,6*		21,23*		8,5*			1,90*		
9	8,5	8,6	21,27	21,36	8,3	8,5	8,3	2,26	2,87	2,81
	8,5*		21,31*		8,4*			2,84*		

* média dos valores obtidos nos respectivos ensaios

Quanto aos valores obtidos da resistência à compressão simples após os sete dias de cura, observa-se que aumentando o teor de cimento Portland há um aumento na resistência da mistura e a variação desse aumento é maior quando o teor passa de 5%, atingindo uma resistência de 2,84 MPa para um teor de 9%. Essa resistência é cerca de 35% maior que a resistência mínima de 2,1 MPa determinado pela norma DNIT 143/2010 – ES [25], para utilização em base de pavimento.

Em relação ao ganho de resistência, isso pode ser explicado segundo um modelo matriz-esqueleto proposto por Herzog [26] e sumarizado de Rodrigues [27]: numa argila, cuja estrutura é feita de domínios de tamanhos diferentes, existem vazios interconectados numa certa extensão - esses domínios consistem em placas de argila orientada paralelamente em pacotes fechados, comportando-se como unidades estruturais em argilas. A hidratação do cimento e a ocorrência de reações secundárias formam um corpo no qual o centro endurecido de cimento é rodeado por uma zona desses domínios argilosos que se unem por cimentação “interdomínio”. Externamente a essa zona formam-se canais pelos macroporos interconectados dentro da massa argilosa

que podem ficar revestidos de cimento e se apresentam como ramificações relativamente fortes e reforçadas, estendendo-se do corpo à matriz inalterada.

Rodrigues [27] ainda descreve que se o conteúdo de cimento for muito baixo, tais unidades de esqueleto se comportam como partículas bem granulares e separadas, flutuando na matriz argilosa. Aumentando-se um pouco a quantidade de cimento, as unidades do esqueleto ficam menos espaçadas, porém não interconectadas. Já com teores maiores, o espaço entre elas é menor e as ramificações tornam-se interligadas, aumentando a resistência e a estabilidade da matriz argilosa. Para quantidades de cimento ainda maiores não há produção de matriz, sugerindo a formação de um esqueleto rígido, completamente interconectada, tornando-se maior fonte de resistência do sistema. A Figura 1 permite entender o modelo citado na mistura do solo com os teores 3, 5, 7 e 9% de cimento após o período de cura de sete dias.



Figura 1. Torrões da mistura de solo e 3% (a), 5% (b), 7% (c) e 9% de cimento (d), após o ensaio de rompimento à compressão aos sete dias de cura.

Observa-se da Figura 1.a que o cimento tem uma ação modificadora da fração argilosa que faz diminuir a plasticidade com pouca variação no ganho de resistência. No entanto, na Figura 1.b, 1.c e 1.d o cimento já apresenta uma ação aglutinante das partículas de solo permitindo um aumento da resistência mecânica. Percebe-se nos torrões a presença do cimento (pontos acinzentados em meio às partículas do solo), principalmente na amostra de 5% e na amostra de 7 e 9% o solo perde mais a tonalidade avermelhada, característica desse solo, e passa a apresentar uma coloração mais acinzentada devido à maior quantidade de cimento.

Ensaio de limites de Atterberg foram realizados para avaliar a perda de plasticidade com a adição de cimento ao solo. Nesse caso, as amostras da mistura para tais ensaios foram coletadas dos corpos de prova após serem rompidos à compressão. Os resultados

estão apresentados na Tabela 3. Diante dos valores desses limites, nota-se que a adição de 3% de cimento reduziu fortemente a plasticidade e a partir de 5%, a mistura não apresenta mais essa característica, concordando com os conceitos básicos das misturas solo-cimento, em que o cimento Portland reduz a plasticidade do solo, sendo necessário tempo suficiente para ocorrer as reações de hidratação e endurecimento do cimento. É importante observar que não houve diferenças nos valores dos limites em relação ao solo natural (Tabela 1) e o solo com 0% de cimento após rompimento à compressão aos sete dias de cura. Isso indica que a aplicação da energia mecânica intermediária, na moldagem dos corpos de prova, não foi suficiente para quebrar os grãos do solo numa quantidade necessária que reduzisse a plasticidade.

Tabela 3. Limites de Atterberg da mistura de solo e cimento Portland após rompimento à compressão aos sete dias de cura.

Teor de cimento (%)	Limite de Liquidez (%)		Limite de Plasticidade (%)		Índice de Plasticidade (%)	
	E. 1	E. 2	E. 1	E. 2	E. 1	E.2
0	33	34	18	18	15	16
	33*		18*		15*	
3	29	29	23	24	6	5
	29*		23*		6*	
5	NP		NP		NP	
7	NP		NP		NP	
9	NP		NP		NP	

* média dos valores obtidos nos respectivos ensaios

4. Conclusões

Os resultados e as análises realizadas neste trabalho permitem concluir que:

- ✓ adicionando-se cimento Portland ao solo no momento da compactação não gera diferenças na massa específica aparente seca máxima, mas promove uma tendência de diminuição no teor de umidade ótimo;
- ✓ adicionando-se cimento Portland ao solo aumenta-se a resistência à compressão simples, porém, não é diretamente proporcional para todos os teores, verificando-se que o crescimento é mais acentuado para teores acima de 5% de cimento;
- ✓ adicionando-se cimento Portland ao solo observam-se as alterações devido à ação modificadora do cimento, para teores mais baixos e aglutinadora, para teores mais altos;
- ✓ adicionando-se cimento Portland ao solo observa-se a forte redução na plasticidade do solo a partir de 3% de cimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio à pesquisa de doutoramento do primeiro autor e ao laboratório GeoPav da Universidade Federal de Sergipe pelo apoio físico e técnico para realização das pesquisas.

Referências

- [1] BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ADEBA, 2006. 504 f.
- [2] LAMBE, W; WHITMAN, R.V. Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1969. 582 p.
- [3] VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. 509 p.
- [4] CONCHA, L.M.C. Estudo da fadiga de duas misturas de solo-cimento. Rio de Janeiro: UFRJ, 1986. (Dissertação de Mestrado).
- [5] CERATTI, J.A.P. Estudo do comportamento a fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimento. Rio de Janeiro: UFRJ, 1991 (Tese de Doutorado).
- [6] JUNG, J.G.; STRACKE F.; KORF, E.P.; CONSOLI, N.C. A influência do tipo de cimento na resistência à compressão simples de uma areia artificialmente cimentada. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, Portugal, n. 125, p. 87-94, jul. 2012.
- [7] MARANGON, M. Utilização de solo-cimento em uma solução alternativa de estrutura de arrimo. Rio de Janeiro: PUC, 1992. (Dissertação de Mestrado).
- [8] ENAMORADO, M.A. Estudo comparativo entre o método mecânico e o método físico-químico para dosagem do solo-cimento. Rio de Janeiro: UFRJ, 1990. (Dissertação de Mestrado).
- [9] CRUZ, M.L.S. Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento. Braga: Universidade do Minho, 2004. (Dissertação de Mestrado).
- [10] MACÊDO, M.M. Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos. Recife: UFPE, 2004. (Dissertação de Mestrado).
- [11] FOPPA, D. Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados. Porto Alegre: UFRGS, 2005. (Dissertação de Mestrado).
- [12] PORTELINHA, F.H.M.; LIMA, D.C.; FONTES, M.P.F.; CARVALHO, C.A.B.; STEHLING, R.S. Influência dos mecanismos de reação nas propriedades físicas e químicas de dois solos tropicais melhorados com cimento e cal. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, Portugal, n. 124, p. 5-30, mar. 2012.
- [13] MAKUSA, G.P. Soil stabilization methods and materials in engineering practice. Department of civil , environmental and natural resources engineering. Lulea University of Technology, 2012.
- [14] DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM – ME 041: solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1994.
- [15] _____ – ME 093: solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.
- [16] _____ – ME 051: solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.
- [17] _____ – ME 082: solos – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1994.
- [18] _____ – ME 122: solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994.
- [19] _____ – ME 129: solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.
- [20] _____ – ME 216: solo-cimento – determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1994.
- [21] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT 139/2010 – ES – Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro: IPR.
- [22] _____ – ME 202: solo-cimento – moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- [23] _____ – ME 201: solo-cimento – compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- [24] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Manual de Pavimentação. Publicação IPR – 719. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.
- [25] _____. DNIT 143/2010 – ES – Pavimentação – Base de solo-cimento – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro: IPR.
- [26] HERZOG, A. Evidence for a Skeleton-Matriz Structure in clays stabilized with Portland cement. 5th Australia- New Zealand Conference on SMFE, 1967.
- [27] RODRIGUES, M.G.M. Contribuição ao estudo do método físico-químico de dosagem do solo-cimento. Rio de Janeiro: UFRJ, 1992. (Dissertação de Mestrado).