

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na bibliografia nacional a maioria dos trabalhos disponíveis a respeito do estudo em solos residuais de perfis de intemperismo, objetivando correlacionar características químicas e mineralógicas com características geotécnicas, se referem a perfis desenvolvidos em rochas de caráter ácido e intermediário. Serão apresentadas algumas conclusões sobre os dados químicos, mineralógicos bem como algumas correlações entre estes e alguns dados geotécnicos.

Serão também abordadas algumas descrições de alguns perfis de intemperismo de rochas de caráter básico, encontrados na literatura, que é o objeto da presente dissertação.

2.1.

Perfis de Solos Residuais de Rochas Ácidas e Intermediárias

Brito (1981), Sertã (1986) e Polivanov (1998), estudaram solos residuais provenientes de rocha ácida do Estado do Rio de Janeiro; enquanto Lima et al. (2002) estudaram um solo residual de biotita-gnaïsse, considerado um solo proveniente de rocha de caráter intermediária. Todos os autores tiveram como um dos objetivos correlacionar características químicas e mineralógicas com características geotécnicas.

Brito (1981), realizou estudos em um perfil de intemperismo de uma rocha gnaïsse situado no campo experimental I da PUC-RJ. O trabalho abrangeu ensaios de caracterização, identificação mineralógica, análise química total e ataque sulfúrico. Também foram realizados ensaios de compressão confinada e resistência ao cisalhamento.

A autora concluiu que o mineral de neoformação mais representativo foi o do grupo caulinita, proveniente principalmente da alteração de feldspatos. Em algumas amostras ocorreu a illita, possivelmente proveniente da alteração da biotita. A análise mineralógica das frações areias mostrou que o quartzo é um mineral comum a todas amostras, seguido dos feldspatos e biotita em graus variáveis de alteração química.

Pelos resultados das análises químicas concluiu-se que houve uma concentração de óxido de ferro, titânio e alumínio e uma lixiviação dos álcalis, durante a transformação da rocha em solo. A única correlação feita pela autora se refere ao limite de liquidez, que diminui com o menor grau de intemperismo, o que já era esperado, pela dominância das frações arenosas, nas camadas menos alteradas.

Falcão (1984), analisou resultados de ensaios de campo e laboratório realizados por pesquisadores que estudaram o Campo Experimental I da PUC-RJ, como Brito (1981).

A autora sugere que para rochas de caráter ácido não é necessário proceder a uma análise mineralógica através de difração raios X na fração argila, pois esta não ocorre em quantidade significativa neste tipo de solo residual jovem. Também afirma que para esse perfil pode-se correlacionar a variação do módulo de elasticidade, bem como os valores de coesão, e ângulo de atrito com o β (índice de intemperismo).

Polivanov (1998) caracterizou dois perfis de intemperismo desenvolvidos de gnaisses, procurando investigar correlações entre a caracterização química, mineralógica, física e geotécnica dos solos em estudo. O argilomineral predominante foi a caulinita para os dois perfis em estudo. Verificou que para ambos perfis, o quartzo e os feldspatos potássicos eram predominantes nas frações areia.

Os resultados das análises químicas totais dos dois perfis revelaram que o Fe_2O_3 e Al_2O_3 se concentram durante os processos químicos de intemperismo, enquanto que os álcalis sofrem intensa lixiviação ao longo dos perfis, como já havia citado por Brito (1981).

A autora não observou correlação nítida entre os parâmetros de resistência com os dados granulométricos.

Em ambos perfis analisados observou que o ângulo de atrito aumentou com o decréscimo do índice de vazios. Além disso, os perfis apresentaram elevado grau de correlação inversa entre o ângulo de atrito e a coesão aparente. Em relação à atividade dos solos, a autora conclui que o gráfico de atividade de Skempton não é adequado para o estudo de solos residuais jovens.

Lima et al. (2002), correlacionaram parâmetros físico-químicos com parâmetros geotécnicos de um solo residual de biotita-gnaiss da região do Espinhaço da Gata-PE. O intemperismo físico-químico da rocha biotita-gnaiss granatífera em clima quente e úmido, resultou na formação de um regolito (solo + saprolito) com cerca de 14 m. Os autores correlacionaram as feições mineralógicas e geoquímicas (percentagem de mica e argilas e índice de intemperismo) com os índices de caracterização (índice de vazios, limites de Atterberg e índice de plasticidade) e de compressibilidade (ensaios edométricos).

Os autores observaram que com o intemperismo físico-químico, as micas diminuem de tamanho além de se argilizarem juntamente com os feldspatos, que apresentam rápida argilização mesmo em se tratando de membros sódicos; conseqüentemente os álcalis são lixiviados gerando um aumento de vazios no solo residual.

O autor constatou correlação positiva entre o aumento da percentagem de micas, os índices de vazios e a compressibilidade dos solos. Entretanto, os autores alertam que outros fatores também podem influir na compressibilidade do solo.

Considerando os limites de Atterberg, verificou que o solo residual apresenta um comportamento coerente com os percentuais de argila.

2.2.

Perfis de Solos de Rochas Básicas

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre solo residual de basalto refere-se à Bacia do Paraná, a qual cobre uma vasta área da Região Sul e Centro-Sul do Brasil.

Segundo Melfi (1988), a Bacia do Paraná é constituída por formações sedimentares, as quais foram posteriormente encobertas, em uma grande área, pelos derrames basálticos. Estes derrames originaram-se no final do período Jurássico e início do Cretáceo entre 140 e 120 milhões de anos.

A seguir, serão descritos alguns perfis de solo residual de rocha básica, localizados na Bacia do Paraná.

Tanaka (1975) procurou obter resultados referentes à resistência de corpos de prova indeformado e deformado de solos residuais de um basalto denso e um vesicular proveniente da ombreira direita da barragem de São Simão, a qual se localiza entre os municípios de Santa Vitória (MG) e São Simão (GO). Neste estudo foram realizados ensaios de caracterização completa dos solos, análise mineralógica da fração argila através de difração raios X, ensaios de cisalhamento direto com caixa quadrada e circular, ensaios de compressão triaxial adensado não drenado (C.U) com medida de pressão neutra e ensaios de cisalhamento direto de múltiplo estágio. A área de estudo foi marcada por sucessivos derrames, geralmente intercalados com o arenito Botucatu, em que ambos se mostravam geralmente descontínuos. Os basaltos da área estudada eram constituídos essencialmente de plagioclásio básico e augita, com ou sem olivina, com textura variando de vítrea à porfirítica. As amostras do solo residual de basalto denso apresentavam coloração marrom-avermelhada, com fissuras geralmente realçadas na massa, pela coloração diferente do seu material de preenchimento, geralmente preto. Já as amostras do solo residual de basalto vesicular, apresentavam coloração avermelhada, com fissuras levemente inclinadas, e preenchidas com material de coloração preta (óxido de manganês). Notava-se a existência eventual de estrias de fricção, idênticas aos espelhos de falha (“slickenside”).

Em análises de difração observou-se que a caulinita era o argilomineral predominante para os dois solos estudados.

A Tabela 1 apresenta valores percentuais das frações granulométricas dos solos, densidade dos grãos (γ_s), faixa encontrada dos limites de Atterberg e faixa do índice de atividade (IA) para os solos residuais de basalto denso e basalto vesicular estudados por Tanaka (1975).

Tabela 1 - Frações Granulométricas, G_s , limites de consistência e IA dos solos estudados por Tanaka (1975).

Solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	G_s	LL (%)	LP (%)	IA
Basalto denso	8,0	50,2	41,8	3,03	62 - 70	33 - 37	0,69 - 0,79
Basalto vesicular	32,0	35,0	33,0	3,00	60 - 66	38,5 - 39	0,65 - 0,86

A tabela 2 apresenta resultados de parâmetros efetivos de resistência de pico obtidos em amostras indeformadas quadradas através de ensaios de cisalhamento direto drenado submerso, bem como a faixa do índice de vazios inicial (e_i) das amostras cisalhadas.

Tabela 2 – Índice de vazios iniciais e parâmetros efetivos de resistência de pico dos solos estudados por Tanaka (1975).

Localização	e_i	Parâmetros de pico	
		c' (kPa)	ϕ' (°)
Basalto denso	1,52 - 1,66	37	27,5
Basalto vesicular	1,56 - 1,66	16	23,5

Rigo (2000) estudou solos residuais de basalto provenientes de perfis de intemperismo selecionados ao longo das rodovias estaduais RS-453 e RS-486 – Rota do Sol, situados na formação Serra Geral.

O objetivo principal do autor foi obter parâmetros de resistência residual; porém o mesmo realizou ensaios de caracterização, análise mineralógica da fração argila através de difração raios X e ensaios de cisalhamento direto drenado para obter parâmetros efetivos de resistência de pico. Ao todo foram escolhidos 4 pontos de coleta, cujas denominações atribuídas foram:

- Teutônia – Solo Residual de basalto localizado em uma encosta, tal camada encontrava-se abaixo de um solo coluvionar. Em análises de difração de raios X foram detectadas montmorillonita e caulinita como argilominerais existentes, além de indicar a presença de hematita (óxido secundário).
- Km 109+180 – Talude constituído de uma camada de 0,5 m de solo superficial que apresentava grande quantidade de matéria orgânica; a segunda camada possuía uma espessura média de 1,5 m sendo constituída por um solo argiloso extremamente plástico. O autor atribuiu tal característica ao fato dessa camada possuir argilas esmectitas. O mesmo indica que a esmectita seria responsável pela baixa condutividade hidráulica do solo, possibilitando a formação de um lençol d'água suspenso na camada superficial; A terceira camada de onde foram retiradas as amostras apresentava uma espessura de 2 m. Este solo tinha estrutura granular de cor amarela, apresentando descontinuidades reliquias que eram preenchidas por argilas. Em análises de difração de raios X foram detectadas montmorillonita, caulinita e quartzo.
- km 113+100 – Neste local o solo residual encontrava-se a 0,5 m de profundidade. Através de sondagens detectou-se que a espessura máxima do solo residual era de 3 m. O solo residual possuía estrutura granular e sua coloração variava com a profundidade, com tonalidades mais avermelhadas até 1,5 m e mais amareladas em profundidades maiores. As amostras foram coletadas a 1,5 m de profundidade. Em análises de difração de raios X foram detectadas montmorillonita, caulinita, além de indicar a presença de goethita (hidróxidos).

- Km 119+120 – O Perfil era composto por uma camada superficial de solo residual laterítico maduro (horizonte B) com 1 m de espessura. Abaixo desta camada, encontrava-se o solo residual saprolítico (horizonte C) com espessura de aproximadamente 3 m. Este solo de até 2 m de espessura, de onde foram coletadas as amostras, possuía coloração marrom e se mostrava bastante argilizado. Em análises de difração de raios X foram detectadas montmorillonita, caulinita e quartzo.

A Tabela 3 apresenta valores percentuais das frações granulométricas, densidade dos grãos (γ_s), limites de Atterberg e índice de atividade (IA) para os solos residuais de basalto estudados por Rigo (2002).

Tabela 3 – Frações Granulométricas, G_s , limites de consistência e IA dos solos estudados por Rigo (2002).

Localização	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	G_s	LL (%)	LP (%)	IA
Teutônia	22	56	22	2,72	72	38	1,54
km 109 + 180	30	28	42	2,66	72	32	0,95
km 113 + 100	64	26	6	2,93	40	26	2,33
km 119 + 120	28	48	24	2,71	68	37	1,29

A tabela 4 apresenta resultados de parâmetros efetivos de resistência de pico obtidos em amostras indeformadas cilíndricas através de ensaios de cisalhamento direto drenado submerso, bem como a faixa dos índices de vazios inicial das amostras cisalhadas dos solos estudados por Rigo (2002).

Tabela 4 - Índice de vazios iniciais e parâmetros efetivos de resistência de pico dos solos estudados por Rigo (2002).

Localização	índice de vazios	Parâmetros de pico	
		c' (kPa)	ϕ' (°)
Teutônia	1,73-1,90	25,5	29,5
km 109 +180	1,31-1,38	16,4	33,2
km 113+100	1,02-1,13	11,9	35,2
km 119+120	1,70-1,72	25,1	29,3

Lacerda et al. (2002) realizou na região de Lavras (MG), investigações do comportamento geoquímico ao longo dos processos de alteração e evolução pedológica em perfis de solos provenientes de um piroxenito granulizado de composição geoquímica básica. Basicamente a mineralogia essencial da rocha mãe era composta de plagioclásio, piroxênios e anfibólios. A caulinita, o talco e a esmectita foram os principais argilominerais encontrados no perfil.

Foram coletadas amostras dos horizontes C₃, C₂, C₁, BC, B_t e A. A Tabela 5 descreve a granulometria dos horizontes estudados.

Tabela 5 – Granulometria dos horizontes estudados por Lacerda et al. (2002).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
A	0 - 18	48,0	36,0	16,0
B _t	18 - 55	14,0	34,0	52,0
BC	55 - 85	20,0	39,0	41,0
C ₁	85 - 120	56,0	32,0	12,0
C ₂	120 - 230	70,0	26,0	4,0
C ₃	230+	74,0	22,0	4,0

Os resultados da análise química total para os elementos maiores-óxidos obtidos por meio de fluorescência de raios-X para os perfis estudados por Lacerda et al. (2002), encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados analíticos através de espectrometria de fluorescência de raios-X dos elementos maiores-óxidos constituintes, Lacerda et al. (2002).

Amostra	Profundidade (cm)	(%)										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PF
A	0-18	43,95	11,94	18,86	4,49	5,24	0,20	0,26	1,01	0,29	0,01	13,75
B	18-55	38,27	18,84	22,54	0,72	0,86	0,03	0,21	1,12	0,16	0,01	17,23
BC	55-85	37,71	18,60	23,10	0,72	0,80	0,01	0,14	1,14	0,16	0,01	17,6
C ₁	85-120	42,21	15,64	20,56	2,64	2,84	0,01	0,18	1,08	0,19	0,01	14,64
C ₂	120-230	47,46	13,27	16,99	4,66	6,31	0,27	0,21	0,86	0,17	0,01	9,78
C ₃	230+	52,61	11,51	14,84	6,56	8,20	1,03	0,31	0,73	0,17	0,01	4,03
R		52,12	9,08	11,58	10,9	11,8	2,89	0,09	0,73	0,17	0,05	0,6

Onde: A = horizonte A (fácies sólum), B = horizonte B_t (fácies sólum), BC = horizonte BC (fácies de transição), C = horizontes C (SRJ), R = fácies rocha fresca de origem, PF = perda ao fogo.

Segundo o autor, os minerais primários destruídos nos estágios iniciais de alteração intempérica são exatamente os silicatos ferromagnesianos e cálcio-sódico, tais como os anfibólios, piroxênios e plagioclásios cálcio-sódicos. O autor ainda menciona que o enriquecimento de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e TiO_2 no horizonte B_t é justificado pela concentração de sesquióxidos de Fe, Al e Ti. Tais elementos são liberados, também pelo intemperismo de minerais primários que os contêm na estrutura, como: silicatos ferromagnesianos (piroxênios e anfibólios), de acordo com a seqüência de intemperização destes estabelecidas por Goldich (1969).

A EPC (1986) realizou estudos na fase de projeto da Ferrovia Norte-Sul, em solos provenientes de rochas básicas (basalto). Dentre os resultados obtidos podem ser apontados dados, como: granulometria, densidade relativa dos grãos (G_s), limites de consistência, índices de atividade e parâmetros efetivos de resistência ao cisalhamento de pico, obtidos em amostras indeformadas. Tais dados estão apresentados na tabela 7. É importante ressaltar que os parâmetros de resistência foram advindos de ensaios de compressão triaxial não-drenado saturado.

Tabela 7 – Granulometria, limites de Atterberg, G_s , IA e parâmetros efetivos de resistência de pico do solo estudado pela EPC (1986).

Localização	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	G_s	LL (%)	LP (%)	IA	Parâmetros de pico	
								c' (kPa)	ϕ' (°)
FNS km 229 + 260	18	39	43	2,84	60	37	0,53	7,5	25

O tema da presente dissertação se refere a estudos de um perfil de intemperismo situado no mesmo talude de corte desta ferrovia.