



Solos: Subsídio Para Estudos de Geologia de Engenharia
Soils: Contribution For Engineering Geology Studies

Franklin dos Santos Antunes¹; Helena Polivanov²;
Hugo Portocarrero³ & Tácio Mauro Pereira de Campos¹

¹Pontifícia Universidade Católica, Departamento de Engenharia Civil,
Rua Marquês de São Vicente, 225. 22451-041 Gávea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,

Av. Athos da Silveira, 274 bloco G. Campus Ilha do Fundão - Cidade Universitária. 21.949-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro. São Francisco Xavier. 524. 20550-013 Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: franklin.s.antunes@gmail.com; hpolivanov@gmail.com; hugo.portocarrero@uerj.br; tacio@puc-rio.br

Recebido em: 22/10/2014 Aprovado em: 10/04/2015

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_180_198

Resumo

O objetivo deste texto foi abordar de forma simplificada e multidisciplinar, sob o ponto de vista da geologia de engenharia, as variáveis envolvidas na formação de solos residuais, transportados, orgânicos, expansivos e lateríticos, contribuindo para uniformizar conceitos de solos de interesse geotécnico. Foram também apresentados e discutidos dados químicos e mineralógicos de cinco perfis, cujos respectivos solos residuais jovens ou saprolíticos foram formados pela ação dos processos intempéricos sobre rochas metamórficas gnáissicas em ambiente climático tropical e subtropical. Os solos residuais jovens desenvolvidos a partir destas rochas, além de serem comuns no estado do Rio de Janeiro, apresentam espessuras superiores a 10 metros, estando associados a grandes deslizamentos e movimentos de massa ocorridos nos últimos 50 anos tanto no referido estado quanto em outros. O artigo destaca por fim que a presença de heterogeneidades reliquias presentes nos solos residuais jovens ou saprolíticos e herdadas das respectivas rochas de origem, não devem ser descartadas em análises de estabilidade de taludes e encostas naturais e em projetos de fundações.

Palavras-chave: formação de solos; perfis de alteração; solos residuais; análises mineralógicas

Abstract

The objective of this paper was to discuss in simplified and multidisciplinary terms and through an engineering geology point of view the different variables related to the development of residual, transported, organic, expansive and lateritic soils, contributing to standardize concepts of geotechnical interest mineralogical and chemical data from five profiles whose respective saprolitic soils were formed by the action of weathering processes on gneissic metamorphic rocks in tropical and subtropical climatic environment were presented and discussed. The residual soils developed from these rock, besides the great abundance in the state of Rio de Janeiro, have thicknesses greater than 10 meters, being associated with large landslides and mass movements occurred in the last 50 years both in that state and in others. The article emphasizes finally that the presence of relict heterogeneities in saprolitic soils and saprock inherited from their source rocks should not be discarded in the analysis of slope stability and foundations projects.

Keywords: soil formation; weathering profile; residual soils; mineralogical analysis

1 Introdução

O entendimento atual dos processos que deram origem aos solos constitui tema relevante em diversos estudos geotécnicos, principalmente no que diz respeito a análises de estabilidade de taludes e movimentos de massa, projetos de recuperação de áreas degradadas e pesquisas envolvendo a remediação de áreas contaminadas.

O objetivo deste texto foi abordar de forma simplificada e multidisciplinar, sob o ponto de vista da geologia de engenharia, as variáveis envolvidas na formação de solos residuais, transportados, orgânicos, expansivos e lateríticos, contribuindo para uniformizar conceitos de solos de interesse geotécnico. Foi dado destaque aos perfis de solos residuais desenvolvidos de rochas gnáissicas, uma vez que estes mesmos são muito comuns no estado do Rio de Janeiro e estão também associados a grandes movimentos de massa ocorridos nos últimos 50 anos no Brasil.

2 Conceito de Solos

Na literatura, existem várias definições e conceitos sobre solos, dependendo de suas propriedades e de sua utilização para vários fins. Pode-se citar, entre outros: Terzaghi & Peck (1948); Caputo (1988); Mitchell (1976); Vargas (1977); Rodrigues (1977); Maciel (1997); Salomão (1998); Souza Pinto (2000); Oliveira (2001); Espindola (2008); Taioli (2009); Teixeira *et al.* (2009); Badilho & Rodrigues (2010); Tognon (2012).

Assim sendo, um dos objetivos deste texto foi estabelecer um conceito de solos para a geologia de engenharia. Portanto, sob este ponto de vista, o solo será considerado como um acúmulo de partículas inconsolidadas de diâmetros e composição química e mineralógica diferenciadas, contendo vazios preenchidos parcial ou totalmente por água e ar, resultantes de três eventos geológicos: processos intempéricos, erosivos e deposicionais. Os materiais resultantes desses processos podem ser parcialmente cimentados.

3 Formação dos Solos

Os solos que atualmente cobrem as diversas paisagens terrestres retratam a ação dos processos

geodinâmicos que atuaram e atuam em seu trabalho de modelamento do relevo terrestre. Inicialmente as rochas expostas aos ambientes climáticos externos, condicionadas pelo relevo, ao longo do tempo geológico, se instabilizam e começaram a sofrer transformações físicas, químicas e mineralógicas devido à atuação dos processos intempéricos. A intensidade dessas transformações depende da origem das rochas, de sua composição mineralógica, do relevo, do ambiente climático e da intensidade da percolação das soluções aquosas. Esta última ocorre através de macro e micro fraturas naturais ou provocadas por processos físicos, pelos contatos entre os minerais e seus respectivos planos de clivagem.

Dessa forma, com a continuidade dos processos intempéricos, são formadas partículas de várias composições e diâmetros. Parte destas partículas pode permanecer “*in situ*”, e outra transportada e depositada em outros ambientes, dando origem, respectivamente, aos solos residuais e transportados (Figura 1 a Figura 4).



Figura 1 Corte de estrada em Bangu exibindo no perfil exposto o início dos processos intempéricos com a formação das partículas (Fotografia de Helena Polivanov, 1985).



Figura 2 Início do transporte das partículas por processos erosivos. Petrópolis, RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 2000).

3.1 Solos Residuais ou Eluviais

No processo natural de evolução dos solos, com a continuidade do intemperismo, novas partículas se formam. Desse modo, o relevo torna-se suave, permitindo maior infiltração de soluções aquosas no sistema e facilitando o processo evolutivo do perfil de solo, sendo formada assim uma cobertura de partículas sobre a rocha, originando um manto de alteração de espessura diferenciada. Esta cobertura ou manto de alteração é constituído de minerais primários em vários estágios de decomposição, de acordo com suas resistências ao intemperismo, além de pequenos fragmentos de rocha com decomposição incipiente. Fazem parte também dessa cobertura minerais secundários como argilominerais e compostos amorfos¹.

Deste modo, sob o ponto de vista geotécnico, forma-se o solo residual, cuja estrutura e porosidade

¹ Amorfos são compostos minerais naturais que não tem uma estrutura cristalina definida, ou seja, possuem uma estrutura molecular desordenada.



Figura 3 Atuação mais intensa dos processos erosivos, removendo grande parte das partículas do solo. Itaipava, RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1978).



Figura 4 Ação dos processos intempéricos, erosivos e deposicionais, envolvidos na formação dos solos nas várias paisagens terrestres: no topo solos residuais; nas vertentes solos coluviais e/ou tálus; na baixada deposição de partículas originando os solos sedimentares. (Fotografia de Franklin Antunes, 2000).

variam de acordo com seu grau de alteração e sua composição mineralógica, considerando os percentuais de minerais primários e secundários. Com a evolução do processo intempérico, controlado pelo clima, relevo, litologia e do tempo, os minerais primários, isto é, constituintes da rocha de origem, são totalmente decompostos, liberando os elementos químicos que os constituíam, como silício, alumínio, ferro, potássio, sódio, cálcio, magnésio e outros, perdendo suas estruturas cristalinas. Apenas os minerais do grupo das micas, conservam nesse processo parte de sua estrutura, se transformando em minerais secundários, após a perda parcial de alguns elementos químicos.

Como a transformação da rocha em solo, em ambiente tropical e subtropical, envolve perdas de elementos químicos, o manto de alteração se torna progressivamente empobrecido nos elementos químicos mais solúveis que são transferidos para a solução aquosa que percola no sistema. Os cátions, potássio, sódio, cálcio e magnésio são os primeiros a serem removidos em solução (lixiviação) por

serem solúveis em quaisquer condição de pH da solução aquosa, enquanto a sílica e o alumínio e o ferro se concentram.

A sílica e o alumínio permanecendo no sistema podem se recombinar dando origem aos aluminossilicatos, que quando adquirem uma estrutura cristalina definida são denominados minerais secundários neoformados, conhecidos como argilominerais, que se concentram nas frações finas dos solos (argila e silte) principalmente em solos residuais jovens.

O ferro proveniente da decomposição dos minerais máficos, geralmente sob a forma ferrosa, se oxida e se precipita, dando origem aos óxidos e hidróxidos de ferro, que podem se cristalizar respectivamente em hematita e goethita.

Uma vez que os solos em seus processos de formação podem ser entendidos como sistemas abertos, novos minerais secundários vão sendo formados ao longo da evolução do manto de alteração, e com isso vão sendo diferenciadas duas feições. A feição superficial, de espessura variável, de tonalidade castanha, vermelha ou amarela, constituída por argilominerais, associados a óxidos e hidróxidos de ferro, além de minerais primários resistentes ao intemperismo, como o quartzo, zirconita, apatita etc., recebe a denominação de solo residual maduro, sendo constituída essencialmente por argilominerais.

A feição subsuperficial, com características estruturais e/ou mineralógicas herdadas da rocha de origem, é constituída de minerais primários em várias fases de decomposição, associados aos primeiros minerais secundários recém-formados e provavelmente compostos amorfos. As características herdadas da rocha se tornam mais acentuadas com a profundidade, sendo esta feição denominada solo residual jovem ou solo saprolítico, que passa gradualmente para rocha alterada e esta para rocha sã. Ao conjunto de solo residual maduro, jovem ou saprolítico, rocha alterada e sã, denomina-se perfil de intemperismo.

Cada perfil de solo tem suas características e pode apresentar variações significativas em função do relevo onde foi formado numa curta distância. Deve-se, portanto, considerá-lo como de representatividade pontual, sendo importante,

durante os trabalhos de campo, levar este fato em consideração, isto porque perfis desenvolvidos da mesma litologia podem apresentar propriedades diferentes, principalmente quando desenvolvidos de rochas metamórficas gnáissicas.

Sugere-se neste texto que a denominação de perfil de intemperismo só seja utilizada quando os solos forem tipicamente residuais, tanto o maduro, como o residual jovem ou saprolítico, corroborando com a hipótese de Deere & Patton (1971). Caso haja evidências de transporte de material, deve-se denominá-lo de perfil de solo, com as devidas descrições, pois constiuem unidades geotécnicas diferentes.

Em certas situações não é fácil descrever um perfil de solo com base em suas características morfológicas considerando as condições ambientais em que foi formado. É importante uma boa descrição dos perfis considerando todas as suas descontinuidades que possam ter relevância sob o ponto de vista da geologia de engenharia. Deve ser mencionada, algo comum em muitos casos, ocorrência de material transportado sobre o perfil, em função do relevo em que este foi formado. Como esse material é proveniente de transporte local e geralmente tem espessura de poucos centímetros, sua presença não deve ter significado geotécnico.

Os solos residuais jovens ou saprolíticos podem apresentar partículas coloidais de argilominerais preenchendo os vazios existentes, notadamente pelos grãos maiores.

Os óxidos e hidróxidos de ferro, também na forma coloidal, sofrem o mesmo processo e podem se associar aos compostos formados *in situ*. Neste caso, podem constituir um cimento forte, dependendo de suas concentrações e das porcentagens de minerais máficos presentes na composição da rocha de origem.

Também não deve ser descartado o fato de que os solos residuais jovens, pouco intemperizados, podem preservar a estrutura mineralógica da rocha alterada, e, portanto apresentar propriedades geotécnicas típicas de solos cimentados.

Em muitos casos, a observação de areias grossas e cascalhos de amostras de solos indeformados em lupa binocular revela a presença de fragmentos com composições mineralógicas

semelhantes à rocha, onde ainda é nítido o contato entre os minerais.

Lâminas delgadas de amostras indeformadas de solos residuais jovens, ou fragmentos deste mesmo tipo de solo, quando submetidos à análise da microscopia eletrônica de varredura, poderão comprovar de fato a presença de algum cimento entre as partículas que formam o solo.

Considerando as múltiplas variáveis envolvidas na formação dos perfis de solo, devem ser feitas algumas ressalvas:

1. Não se devem estabelecer correlações entre perfis cujos respectivos solos residuais jovens ou saprolíticos sejam desenvolvidos a partir de diferentes litologias;
2. Perfis de solos provenientes de rochas gnáissicas podem ser bastante diferentes, face às composições mineralógicas e características estruturais de cada litologia, mesmo formados em condições ambientais semelhantes;
3. Durante a formação dos perfis de solo, várias mudanças estruturais ocorrem a partir da transformação das rochas em solos residuais jovens e destes em maduros. Estas mudanças devem ser consideradas durante a extração de amostras amolgadas ou indeformadas; e
4. É comum a ocorrência de translocação de partículas coloidais, tanto de compostos cristalinos, como amorfos recém-formados, decorrentes da infiltração de soluções aquosas no sistema. Essas partículas translocadas podem servir como substâncias cimentantes em alguns perfis de solos residuais maduros e jovens.

3.1.1 Solos Residuais Maduros

Como o processo intempérico é dinâmico, sua ação não termina com a formação do perfil de solo. Embora com menor intensidade, todas as feições que compõem o perfil de solo continuam a sofrer modificações, principalmente no solo maduro quando este está presente, por ser a feição mais superficial.

No início da transformação do solo residual jovem em maduro, se formam argilominerais, que inicialmente poderão ser dos grupos da esmectita e/ou da vermiculita, e que poderão ser transformados em illita e caulinita com a evolução natural do solo. Atualmente a caulinita é o constituinte principal da fração argila dos solos formados em ambiente de clima tropical e subtropical. Em condições de intemperismo intenso e boa drenagem, a própria caulinita pode ser decomposta, com a perda de suas folhas de tetraedros de silício, dando origem a gibsitita.

Como os solos residuais maduros, dependendo das condições ambientais, poderão estar em vários estágios de transformação, suas respectivas frações argila terão uma composição mineralógica diferenciada, com reflexo nas suas propriedades, principalmente as influenciadas pelo sistema solo-água.

Assim, quando são coletadas amostras de solos residuais maduros, estes poderão estar em vários graus de transformação. Os componentes minerais da fração argila podem ser utilizados como índices de intemperismo destes solos, acrescentando-se que frações argila constituídas por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio são as mais intemperizadas.

Os solos residuais maduros, quando desenvolvidos a partir de rochas quartzo-feldspáticas, independentemente de seu estágio de evolução, têm a fração areia composta por minerais resistentes ao intemperismo, sendo o quartzo o mais comum. Suas frações argila poderão ser constituídas por argilominerais totalmente ou parcialmente no estado floculado. Poderão ter estrutura granular ou formada por pequenos blocos ou grumos de argila, de acordo com sua gênese e evolução (essas partículas normalmente são coloridas por óxidos e hidróxidos de ferro que poderão também servir de substâncias cimentantes desses solos).

3.1.2 Solos Residuais Jovens ou Saprolíticos

A feição subsuperficial do perfil de solo, com características mineralógicas e/ou estruturais herdadas da rocha de origem, recebe a denominação de solo residual jovem ou solo saprolítico.

Atualmente são encontrados solos residuais jovens de grande espessura, principalmente quando desenvolvidos de rochas quartzo-feldspáticas e ricas

em micas, em regiões submetidas a climas tropicais ou subtropicais. Nestes solos, dependendo da rocha de origem, são encontrados minerais primários em várias fases de decomposição, inclusive, com o início da formação de minerais secundários como os argilominerais.

No início da alteração das rochas, os seus minerais perdem suas cores e brilhos. No caso das rochas constituídas por quartzo, feldspatos e biotita, os feldspatos adquirem tonalidade esbranquiçada e a biotita um tom dourado. Com a continuidade do processo, os feldspatos perdem parcialmente sua resistência, sendo facilmente desagregados à ação do tato. A biotita vai se fragmentando, se transformando em pequenas partículas com aspecto dourado-ferruginoso e se concentrando nas frações areia fina e silte dos solos.

Os solos residuais jovens, desenvolvidos de rochas com predomínio de minerais máficos, à exceção da biotita, começam a adquirir uma tonalidade cor de ferrugem, à medida que os minerais máficos se oxidam. Em muitos casos, os feldspatos aparecem sob a forma de pontos brancos. Ressalta-se que as tonalidades apresentadas pelos solos residuais jovens são decorrentes das composições mineralógicas das respectivas rochas de origens.

A Figura 5 até Figura 8 mostram como a morfologia do relevo é importante para formação de solos residuais, contribuindo para infiltração e com isso, para um maior fluxo de soluções aquosas através dos maciços favorecendo a ação dos processos de intemperismo químico e originando perfis de solos com destaque para as grandes espessuras dos respectivos solos residuais jovens.

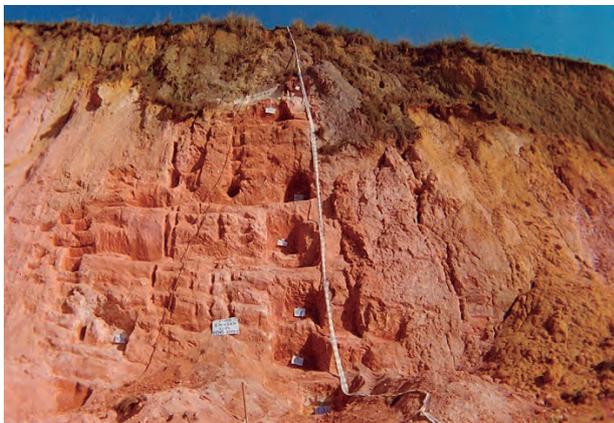


Figura 5 Perfil de solo desenvolvido de rocha gnáissica tendo como minerais essenciais quartzo, feldspato e biotita. Município de Caxias, RJ (Fotografia de Polivanov, 1998).

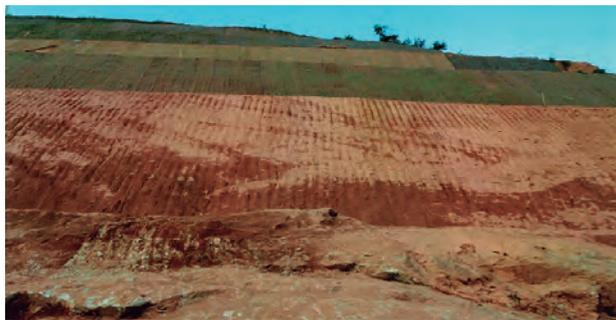


Figura 6 Perfil de solo desenvolvido de rocha gnáissica tendo como minerais essenciais biotita, quartzo e feldspatos com predomínio de biotita. Estrada Rio – Campos, Silva Jardim (Fotografia de Franklin Antunes, 2012).



Figura 7 Perfil de solo desenvolvido de rocha gnáissica rica em feldspatos e quartzo. Laranjeiras, RJ (Fotografia de Jorge Pimentel, 1995).



Figura 8 Perfil de solo desenvolvido de rocha gnáissica tendo como minerais essenciais biotita, quartzo e feldspatos. Perfil de solo em estágio inicial de degradação. Estrada Rio-Santos (Fotografia de Franklin Antunes, 1978).



Figura 9 Fraturas reliquiárias na transição de rocha muito alterada para solo residual jovem. Estrada Rio-Juiz de Fora (Fotografia de Franklin Antunes, 1983).



Figura 11 Inclusões pegmatíticas em solo residual jovem. Estrada Rio-Campos (Fotografia de Franklin Antunes, 2012).

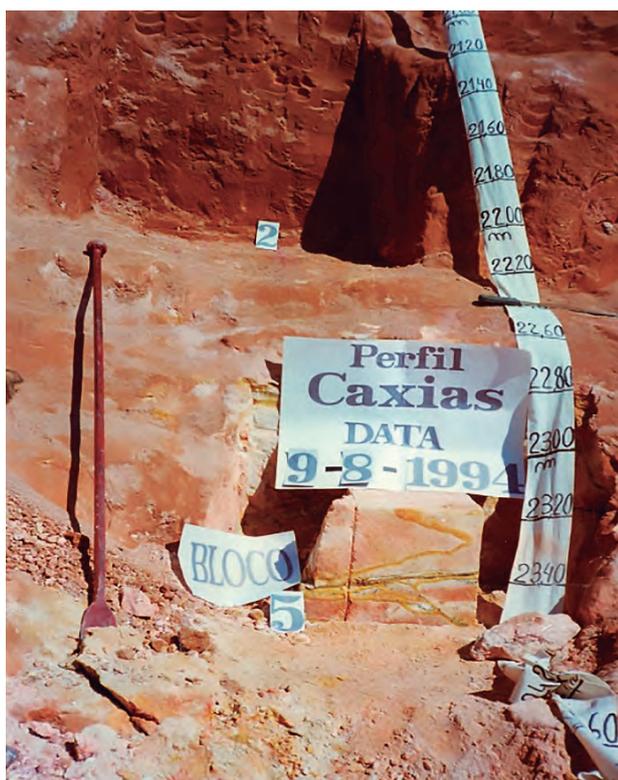


Figura 10 Estruturas reliquiárias preservadas no solo residual jovem. Município de Caxias (Fotografia de Helena Polivanov, 1998).



Figura 12 Inclusão pegmatítica com pequeno rejeito em solo residual jovem. Campo experimental I. PUC- Gávea-RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1981).

(Figura 9), foliações com feições mineralógicas diferenciadas (Figura 10) e inclusões geralmente de formas tabulares de rochas de textura pegmatítica² são encontradas (Figura 11 e Figura 12) e rochas alcalinas e básicas podem ser constatadas.

Inclusões de blocos ou matacões na massa do solo também podem ser encontradas, provenientes do intemperismo diferencial sobre rochas com fraturas conectadas (Figura 13 e Figura 14).

Uma vez que o planeta pode ser considerado um sistema dinâmico, é possível que no passado geológico diversos perfis de solos residuais

² Textura pegmatítica: arranjo de grãos bem desenvolvidos de minerais (K-feldspatos, quartzo, podendo haver também micas).



Figura 13 Blocos inclusos na massa do solo residual jovem. Estrada Rio - Juiz de Fora BR40 (Fotografia de Franklin Antunes, 1976).



Figura 14 Bloco de rocha que estava incluso no solo residual jovem. Estrada Rio-Santos, RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1975).

localizados em regiões de relevos movimentados tenham sido parcial ou totalmente degradados quando submetidos a regimes climáticos caracterizados

por precipitações intensas. As partículas que os constituíam, inclusive blocos ou matacões rochosos por vezes presentes, foram transportadas para outros ambientes, incluindo vertentes, sopé de encostas, vales, bacias, entre outras, dependendo da energia dos episódios geológicos.

Muitas destas áreas de depósitos antigos foram submetidas a processos erosivos, deixando expostos blocos ou matacões rochosos. Atualmente estes episódios são observados em várias regiões do país, com destaque para as ocorrências recentes, na região serrana do Estado do Rio de Janeiro-RJ que ocorreram em 2011.

3.1.3 Amostragem de Solos Residuais

A amostragem deve ser considerada uma das etapas mais importantes para execução de qualquer trabalho envolvendo solos residuais. Durante os trabalhos de campo, precedendo a coleta das amostras, o geotécnico deve procurar entender as características geológicas e geomorfológicas da área de estudo. Estas observações serão úteis para as escolhas dos locais mais representativos para a coleta das amostras de solos, sejam estas indeformadas ou amolgadas.

Nos casos mais comuns envolvendo perfis de solos, os locais mais apropriados para extração de amostras são os taludes. Para tal é necessário que os mesmos sejam previamente limpos e livres de impurezas, e antes da coleta das amostras deve-se descartar do local de coleta uma porção de 20-30 cm da superfície exposta às variações térmicas e a contaminações, para que se extraia uma amostra que de fato represente o solo com suas características naturais (Figura 15 e Figura 16).

No caso de perfis de solos desenvolvidos de rochas metamórficas uma descrição das características morfológicas do perfil deve ser realizada. Também devem ser descritas as características mineralógicas e estruturais herdadas da rocha de origem, além da atitude das fraturas reliquias e das diversas inclusões de outras rochas já alteradas detectadas.

Todas essas observações poderão ser úteis quando da interpretação dos resultados dos ensaios

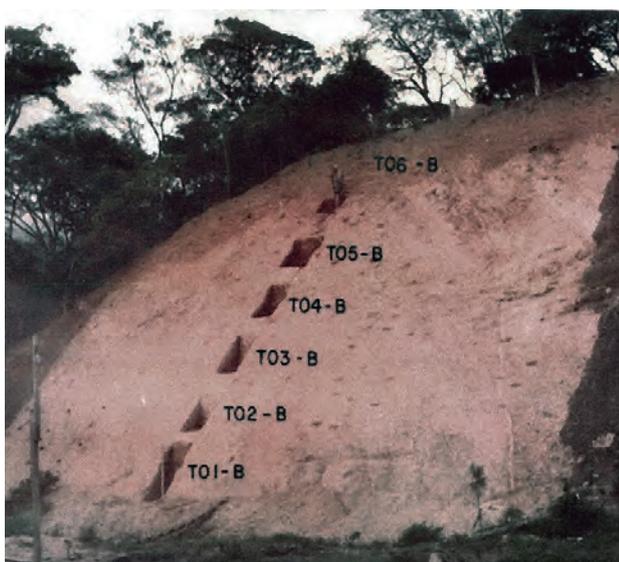


Figura 15 Preparação de talude para coleta de amostra. Campo Experimental – PUC-Rio (Ana Tereza Brito, 1981).



Figura 16 Preparação de talude para coleta de amostra em um perfil em Duque de Caxias-RJ (Fotografia de Helena Polivanov, 1998).

de laboratório. No entanto, nem sempre é possível por questões operacionais fazer estas observações em toda a face do talude. Sendo assim, observações de campo minuciosas devem ser feitas para considerar a representatividade do perfil a ser estudado.

Em campo, após a extração das amostras indeformadas (Figura 17), estas devem ser descritas de acordo com a orientação em relação plano horizontal, antes de se proceder ao seu preparo para o transporte para o laboratório. Este procedimento se faz necessário uma vez que permite comparar características das amostras e observações feitas no talude.

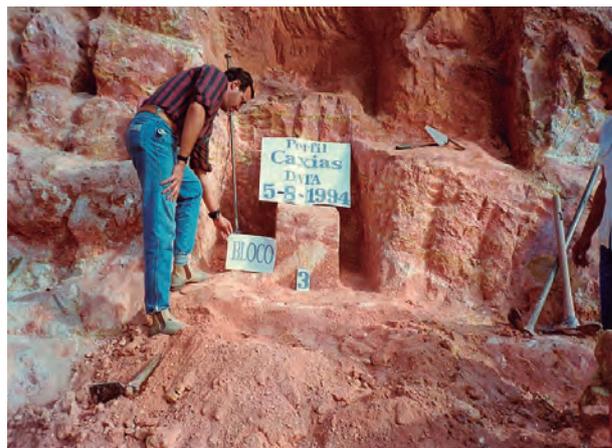


Figura 17 Coleta de amostra indeformada (Helena Polivanov, 1998).

3.2 Solos Transportados

Do ponto de vista geológico-geotécnico os solos transportados devem ser diferenciados em dois tipos, solos coluviais/coluvionares, ou solos tipicamente sedimentares, uma vez que resultaram da deposição de partículas em diferentes ambientes geomorfológicos. Sendo assim, estes solos terão comportamentos geotécnicos distintos.

3.2.1 Solos Coluviais/Coluvionares

A identificação de depósitos coluviais em áreas onde se planeja a utilização do meio físico seja para implantação de obras civis, para ocupação urbana ou ainda para outros fins, se torna relevante levando em consideração as características geológico-geotécnicas de tais formações, especialmente se suas espessuras forem representativas frente às intervenções almejadas. Destaca-se, que, em muitas áreas, estes depósitos ainda estão em processo de lenta movimentação.

A formação desses depósitos é explicada por diferentes especialistas, havendo, entretanto, algumas divergências. Baulig (1956) considera

como colúvio apenas os materiais transportados pelo escoamento pluvial. De acordo com Derruau (1956) os materiais que descem as vertentes são ditos coluviais, enquanto os transportados pelos cursos d'água são ditos aluviais. A designação colúvio (A.G.I. 1957:57) é de caráter geral e aplicada aos depósitos soltos e incoerentes encontrados nos sopés de uma vertente ou escarpa, sendo para aí transportados principalmente pela ação da gravidade.

Mousinho & Bigarella (1965) preferem restringir o termo colúvio aos depósitos onde predominam os movimentos de massa (colúvio *stricto sensu*), e utilizar a designação depósitos colúvio-aluvionares àqueles em que prevalecem processos de escoamento superficial nas vertentes. A designação colúvio-aluvionar é também empregada para descrever muitos depósitos de rampas topográficas nas quais se torna difícil distinguir os dois tipos, entretanto o termo colúvio *lato sensu* abrangeria, segundo estes autores, depósitos formados pelos dois tipos de processos (movimentos de massa e escoamento superficial). Os mesmos autores destacam que na maioria dos cortes de estradas do Brasil sudeste e meridional observa-se a predominância de um colúvio, de cor castanho-amarelada, aparentemente homogêneo e de textura silto-argilosa a arenosa dependendo da rocha matriz. Podem ser também encontradas, mediante um exame mais atento, várias sequências coluviais, muitas vezes separadas por linhas de seixos ou diferenciáveis através de sua textura ou coloração.

Tognon (1985) considera colúvio, o solo ou fragmento rochoso transportado ao longo das encostas devido à ação combinada da gravidade e da água. Possui características diferentes das rochas imediatamente subjacentes. Trata-se por vezes de depósitos de difícil reconhecimento, pois podem assemelhar-se em parte a solos residuais ou aluvionares.

Para Pastore (1998) colúvios são depósitos de materiais inconsolidados, normalmente em encostas íngremes, formados pela ação da água e principalmente da gravidade. Estes colúvios constituem depósitos pouco espessos (até um metro), compostos por misturas de solos e blocos pequenos (15-20 cm), sendo normalmente encontrados recobrendo encostas como as da Serra do Mar.

Guerra (1997) considera colúvio o material transportado de um local para outro, principalmente pelo efeito da gravidade. Só aparece no sopé de

vertentes ou em locais pouco afastados do declive que lhe está acima. Nem sempre é fácil separar a interferência do material do colúvio do residual ou ainda do aluvial.

Muitos solos coluviais ocupam as vertentes dos maciços, podendo estar em contato direto com a rocha sã subjacente, com a rocha alterada ou mesmo sobre o solo maduro ou residual jovem (Figura 18 e Figura 19).

A espessura destes solos varia muito de acordo a declividade do maciço, devendo ser maior próximo a sua base. Podem ocorrer em maciços formados por relevo com forte declividade e também em relevo escarpado, se localizado no sopé das vertentes (Figura 20).

Durante os trabalhos de campo deve-se observar a ocorrência de pequenos fragmentos de rocha, ou linhas de pedras, na massa do solo superficial, em contraste com as composições mineralógicas do solo subsuperficial ou das rochas



Figura 18 Contato colúvio/solo residual jovem separados por uma linha de pedras (Fotografia de Helena Polivanov Teresópolis, 1998).



Figura 19 Contato colúvio/solo residual jovem. Areal. Petrópolis, RJ (Fotografia de Helena Polivanov, 2014).



Figura 20 Essa foto mostra como a morfologia do relevo influi na formação de colúvios ou tálus, quando sobre os maciços atuam os processos intempéricos e erosivos. Correias, RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 2006).

subjacentes, pois isto pode ser um indicativo da presença de um colúvio. A granulometria do solo superficial pode ser também incompatível com a granulometria do solo residual jovem subsuperficial, podendo contribuir também para a identificação deste material. As inclusões de materiais de textura pegmatítica no solo residual jovem, se ausente no solo sobrejacente, podem também servir de indicativos da presença do solo coluvial.

A vegetação mais intensa no sopé das vertentes pode ser um reflexo da presença de depósitos coluviais, uma vez que este material retém mais umidade devido a sua textura (predominam finos) e espessura. Em geral, em relevos muito acidentados ou escarpados, deve-se esperar a ocorrência de um colúvio ao longo das vertentes ou no sopé das encostas. Em alguns casos a transição abrupta entre as feições superficiais e subsuperficiais do perfil pode ser útil para identificar a ocorrência de solos coluviais (Figura 21).

Por fim, deve-se considerar que as características dos solos coluviais, envolvendo suas espessuras, composições mineralógicas e granulometria, dependem dos seus respectivos ambientes de origem, incluindo áreas fontes, tipos de relevo e intensidade da precipitação.

3.2.2 Tálus

Os maciços rochosos constituídos por rochas com fraturas conectadas, quando expostos



Figura 21 Contacto abrupto da feição superficial com a subsuperficial; podendo ser um indicativo da presença de colúvio no perfil de solo. Estrada Rio-Campos (Fotografia de Ana Carolina Antunes Fontes, 2012).

ao intemperismo em regimes de clima tropical e subtropical, liberam blocos ou matacões, que podem ser transportados para as vertentes, ou podem se acumular no sopé dos maciços pela ação combinada da gravidade e da água. Em relevo escarpado predomina a ação da gravidade. Para o planejamento de intervenções no meio físico é altamente relevante detectar e diferenciar colúvio e tálus face as suas implicações geotécnicas.

Ao material rochoso, como blocos, matacões e algumas lascas de rocha, acumulados nos sopés dos maciços, dá-se o nome de tálus. Estes materiais podem ter diâmetros e formas diferenciados, e podem estar inclusos em uma matriz fina com a predominância do material rochoso. No sopé das vertentes, em relevos escarpados, a presença de vegetação mais intensa pode servir como um indicador da presença de tálus, cujo material rochoso está incluso em matriz argilosa ou silto-argilosa. A Figura 22 e a Figura 23 ilustram a ação do intemperismo diferencial sobre o maciço rochoso com fraturas conectadas e com isso a liberação de matacões que se deslocam para as vertentes, podendo atingir o sopé do maciço e dando origem a formação de tálus.

3.2.3 Solos Sedimentares

Atualmente observa-se que paisagens formadas por bacias, terraços, vales, várzeas, regiões litorâneas, etc., podem estar cobertas por partículas de diferentes composições e diâmetros, que refletem o resultado da ação combinada de vários episódios geológicos sobre as rochas expostas à superfície da terra. Estes episódios abrangem processos intempéricos, erosivos e deposicionais. Depósitos de partículas não consolidados são considerados



Figura 22 Ação do intemperismo diferencial evidenciando a liberação de matacões que se deslocam para as vertentes. Campo Grande-RJ (Fotografia de Helena Polivanov, 1980).

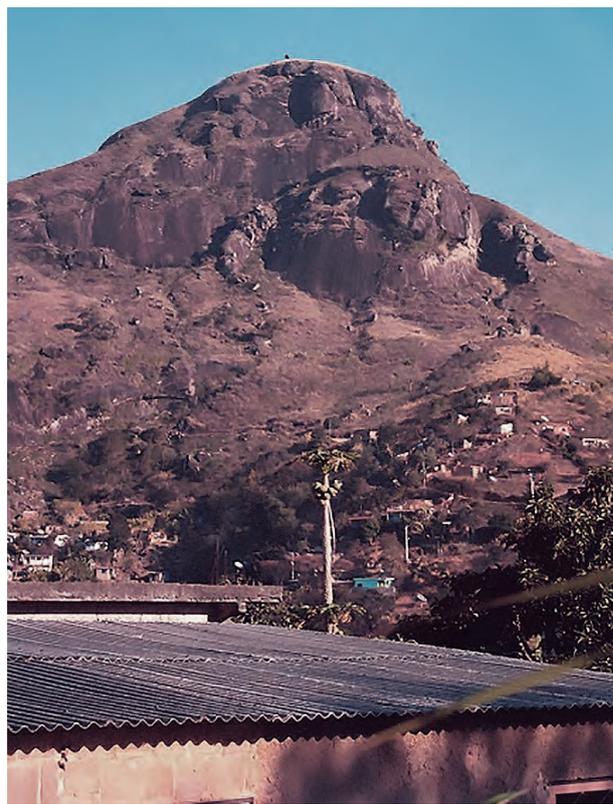


Figura 23 Ação do intemperismo diferencial sobre o maciço rochoso com fraturas conectadas liberação blocos dando origem a um tálus. Correias-RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 2006).

na geologia como sedimentos, e pelos geotécnicos, como solos sedimentares ou transportados.

Os solos sedimentares podem ser formados por um único pacote de partículas de mesma composição e diâmetro, ou por depósitos cujo tamanho das partículas e composição diferem com a profundidade.

Após a deposição das partículas, várias modificações podem estar ocorrendo nestes depósitos. Como exemplo, em depósitos areno-argilosos, pode ter havido translocação de partículas coloidais de argila da superfície para a subsuperfície pela água de infiltração, dando origem a uma camada mais resistente em relação à superfície (Figura 24).

Nestes depósitos pode ocorrer a cimentação das partículas por sílica, formando também uma camada mais resistente. Deve-se acrescentar que as áreas baixas podem continuar a sofrer adições de novas partículas e de substâncias químicas, pois representam ambientes de agradação. Assim sendo, os minerais que formam as partículas podem ser



Figura 24 Construções sobre solo sedimentar de textura areno-argilosa em Palmares-RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1985).

decompostos por processos intempéricos desde que não sejam resistentes ao intemperismo e depositados em ambientes adequados.

As adições de substâncias químicas, dissolvidas na água de infiltração, provenientes de solos e rochas decompostas dos maciços das regiões circunvizinhas, podem mudar o ambiente químico

do meio, propiciando a formação de novos minerais, inclusive de argilominerais expansivos, presentes em muitos solos argilosos que ocorrem nas baixadas.

Em solos areno-quartzosos é comum a ocorrência de camadas subsuperficiais enriquecidas em óxido de ferro (Figura 25), podendo até ocorrer cimentação das partículas arenosas, tornando essa camada bastante endurecida. No solo da Figura 26 os grãos arenosos estão cimentados por óxidos de ferro com reflexos na permeabilidade.



Figura 25 Solo sedimentar, textura arenosa Recreio dos Bandeirantes-RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1985).



Figura 26 Solo sedimentar, textura arenosa, com grãos arenosos fortemente cimentados (Fotografia de Franklin Antunes, 1985).

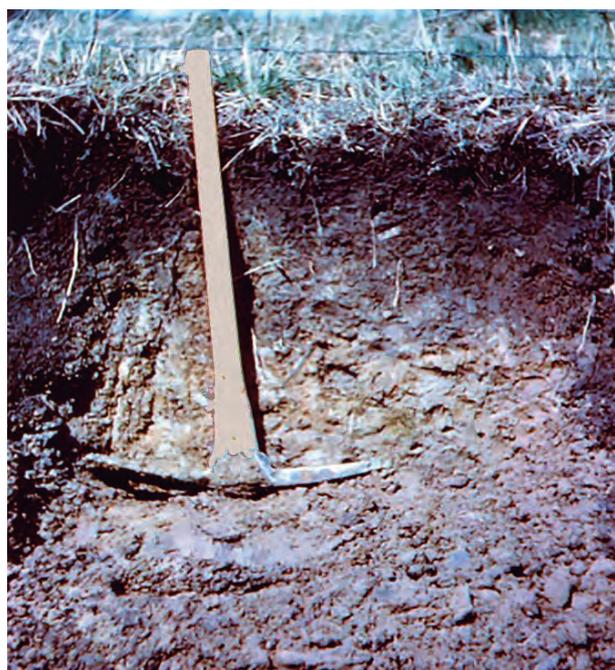


Figura 27 Solo sedimentar de textura argilosa, atualmente em ambiente de hidromorfismo, como mostra a cor cinzenta, típica de ambientes redutores. Observa-se também uma pequena camada de solo orgânico (aproximadamente 30cm) sobre o solo argiloso. Santa Cruz-RJ (Fotografia de Franklin Antunes, 1983).

Sedimentos argilosos podem ter sido depositados em ambientes de hidromorfismo³ ou submetidos posteriormente ao ambiente hidromórfico dando origem a solos argilosos com tonalidades que variam de cinzenta a esverdeada ou azulada, o que decorre da redução do ferro e do manganês (Figura 27). O ambiente hidromórfico pode ter se originado pela presença da água doce ou salgada. Neste último caso os solos podem conter sais solúveis ou materiais sulfídricos, altamente corrosivos.

Atividades vulcânicas podem também contribuir para formação de solos sedimentares, pois estas podem provocar a liberação de partículas sólidas que são transportadas e posteriormente depositadas em outros ambientes, normalmente devido à energia dos ventos. Essas partículas podem ser decompostas desde que depositadas em ambientes climáticos e em áreas que facilitem a infiltração das soluções aquosas.

³ Hidromorfismo: processo de formação de solos em presença d'água; os solos hidromórficos se encontram em depressões e se formam sob baixo potencial de oxirredução; em consequência, o ferro é reduzido (Fe^{2+}) e a massa de solo é cinzenta.

Do acima exposto, é importante que o geotécnico procure entender e considerar os processos geológicos envolvidos na formação dos solos sedimentares, e levar em conta os vários estágios de transformação que os mesmos podem ter sofrido ao longo do tempo geológico. É importante lembrar que cada solo sedimentar é fruto de sua história geológica.

3.3 Outros Solos

3.3.1 Solos Orgânicos

Os solos orgânicos são formados pelo acúmulo progressivo de restos vegetais em ambiente palustre. As condições de alagamento inibem ou retardam a decomposição bioquímica do material orgânico depositado. Tais solos apresentam espessura variável e são reconhecidos por apresentar nos primeiros 40 cm a cor preta. Apresentam em profundidade vestígios de restos vegetais em decomposição, como troncos, ramos, raízes etc.

Os solos orgânicos ocorrem nos terrenos baixos e mal drenados, como as várzeas sujeitas a alagamento nos períodos de maior precipitação. Podem estar cobertos por partículas minerais. São comuns também nas regiões litorâneas, em muitos casos com espessuras de até quase um metro sobre solos moles ou argilas orgânicas.

Sob o ponto de vista geotécnico, de acordo com a norma americana, devem ser considerados solos orgânicos, aqueles que apresentam valores do limite de liquidez obtido em amostras secas em estufa menores do que 75% do mesmo ensaio obtido com amostras naturais. Para os geotécnicos, são solos compressíveis e de baixa resistência.

Deve-se destacar também que estes solos quando drenados ficam expostos à ação dos microrganismos aeróbicos, que transformam os detritos orgânicos em CO₂.

3.3.2 Solos Expansivos

O conceito de solos expansivos se aplica tanto a solos residuais como a solos transportados. Quando formados por processos intempéricos, estes solos resultam da decomposição de materiais de origem onde predominam compostos ricos em álcalis, os quais, quando submetidos ao intemperismo

se transformam em compostos com sódio, cálcio, magnésio, entre outros, e ricos em sílica, dando origem aos materiais com predominância do grupo das esmectitas.

Esses solos formam-se predominantemente em climas semiáridos, nos quais as precipitações não são suficientes para remover ou lixiviar os elementos químicos liberados pelo intemperismo, criando condições para as suas concentrações. A expansibilidade desses solos, no entanto, depende da concentração de argilominerais expansivos, como a esmectita, nas suas respectivas frações finas.

Em outros ambientes climáticos não semiáridos também podem ser encontrados solos expansivos, quando provenientes de materiais de origem com predominância de minerais sódicos e cálcico-magnesianos, formados em regimes climáticos sazonais, com estação seca pronunciada de aproximadamente seis meses.

Materiais expansivos também podem se originar em ambientes de agradação, onde solos argilosos, argilo-siltosos e argilo-arenosos que ocupam as paisagens formadas por bacias, recebem soluções ricas em sílica, alumínio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, etc., provenientes do intemperismo dos maciços circunvizinhos. Neste ambiente geoquímico, pode ocorrer a combinação da sílica com o alumínio, dando origem a argilominerais, e dentre eles o grupo da esmectita; dependendo da composição química da solução. A própria caulinita detrítica, pode ser transformada em esmectita em função da composição química do ambiente da solução aquosa.

Solos argilosos ou silto-argilosos, sujeitos a influência marinha, podem conter argilominerais expansivos, ou esmectitas, ou dos grupos dos argilominerais de camadas mistas; uma vez que este ambiente é adequado a suas formações. Podem servir de exemplos, solos argilosos referidos ao período Quaternário, de origem flúvio-marinha, conhecidos por argilas moles ou argilas orgânicas.

3.3.3 Solos Lateríticos

Os solos lateríticos resultam do processo geoquímico conhecido como laterização. Este processo é comum em clima tropical em ambientes de boa drenagem, ocorrendo lixiviação dos álcalis

e sílica, com respectiva concentração de ferro, alumínio, titânio, manganês e outros.

Os solos lateríticos têm comumente tonalidades entre o vermelho e o amarelo. Podem ocorrer em vários estágios, sendo as suas respectivas frações finas representadas por argilominerais do grupo da caulinita ao lado do óxido e hidróxido de ferro e de alumínio, ou somente por óxidos, hidróxidos de ferro, alumínio, titânio, manganês e outros, em uma fase mais intensa de laterização (neste caso a sua fração argila é denominada oxídica).

Alguns solos lateríticos desenvolvidos de rochas ricas em minerais máficos apresentam nas suas frações mais grosseiras, agregados ou concreções ferruginosas inclusas na massa do solo. Estes solos quando submetidos à análise química total apresentam teores de óxidos de ferro próximos de 30%.

4 Exemplos de Resultados Analíticos

São apresentados a seguir dados químicos e mineralógicos de cinco perfis, cujos respectivos solos residuais jovens ou saprolíticos foram formados pela ação dos processos intempéricos sobre rochas metamórficas gnáissicas em ambiente climático tropical e subtropical.

Os solos residuais jovens desenvolvidos a partir destas rochas, além de serem comuns no estado do Rio de Janeiro, apresentam espessuras superiores a 10 metros, estando associados a grandes deslizamentos e movimentos de massa ocorridos nos últimos 50 anos tanto no referido estado quanto em outros.

São apresentados apenas os dados referentes a três profundidades de cada perfil: uma correspondente à feição mais superficial do solo residual jovem; outra mediana e uma última referente às respectivas rochas de origem. Os resultados completos de cada um dos perfis discutidos estão apresentados nas bibliografias referenciadas.

4.1 Análise Química Total

Os resultados das análises químicas totais dos cinco perfis de solo utilizados como exemplos

neste texto são apresentados de forma resumida na Tabela 1 Os dados se encontram em Brito (1981); Sertã (1986); Caula e Silva (1997); Polivanov (1998); Oliveira (2008).

Amostra	Prof (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Perfil Nº 1 – Campo Exp.I – PUC-Rio - Gávea									
SRJ	3.6	49.2	26.7	10.0	0.80	0.00	0.20	0.21	0.21
SRJ	12.2	53.0	21.4	12.0	1.14	0.28	0.55	1.88	0.13
RS	24.2	65.5	17.4	3.2	0.40	1.89	0.66	5.41	3.10
Perfil Nº 2 – Campo Exp.II – PUC-Rio - Gávea									
SRJ	6.0-6.4	59.8	19.6	10.1	1.3	0.05	0.01	0.09	0.03
SRJ	15.0-15.5	67.7	17.2	5.9	0.14	0.05	0.01	0.45	0.03
RS	31.7-33.7	70.1	11.3	7.5	1.00	1.00	3.00	3.30	1.90
Perfil Nº 3 – Laranjeiras – RJ									
SRJ	2.0-2.4	69.5	20.0	1.80	0.17	0.07	0.10	0.05	0.01
SRJ	20.0-20.2	73.5	15.8	1.00	0.07	0.05	0.14	4.80	0.28
RS	39.7-40.1	76.5	13.3	1.00	0.09	0.79	0.18	4.80	2.60
Perfil Nº 4 – Caxias – RJ									
C/SRJ	6.6	78.8	13.7	1.10	0.06	0.05	0.10	0.06	0.01
SRJ	20.6	72.6	17.5	2.30	0.06	0.05	0.10	0.04	0.01
RS	41.0	81.9	9.3	0.78	0.05	0.24	0.16	5.00	1.00
Perfil Nº 5 – Campo Magro - Curitiba									
SRJ	2.0	54.4	25.1	8.23	0.59	0.07	0.74	1.65	0.05
SRJ	11.0	70.6	14.0	3.67	0.35	3.12	1.28	1.46	2.62
RS	25.8	66.1	16.5	3.65	0.21	4.31	1.26	2.14	4.41
Legenda:									
SRJ – Solo Residual Jovem ou Saprolítico									
C/SRJ – Transição Colúvio para solo Residual Jovem ou Saprolítico									
RS – Rocha Sã									

Tabela 1 Análise Química Total – Resultados Expressos em Porcentagem em Peso.

Os dados desta tabela propiciam as seguintes considerações:

- Deve-se esclarecer inicialmente que as análises químicas totais abrangem não só os elementos químicos que estão em solução, mas também os que estão adsorvidos aos colóides dos solos, e que ainda fazem parte da composição química dos minerais primários;
- As rochas de origem dos respectivos perfis, embora sejam todas metamórficas gnáissicas, apresentam composições químicas diferenciadas, principalmente no tocante aos óxidos de ferro e de cátions básicos, provavelmente resultantes, não só de seus componentes minerais, como também de suas porcentagens nas rochas de origem;
- A comparação entre os valores das somas dos cátions básicos das rochas de origem e dos seus respectivos solos residuais jovens pode ser

utilizada para se fazer uma avaliação qualitativa dos graus de intemperismo de cada perfil de solo em relação a sua rocha matriz. Dentro desse contexto, o Perfil 5, localizado no Município de Campo Magro, próximo a Curitiba no estado do Paraná é o menos intemperizado, pois a soma dos cátions é maior. Possivelmente por se encontrar em ambiente climático subtropical, cujo período mais quente do ano não excede 22°C, o intemperismo dos minerais primários doadores desses elementos ao solo é mais lento. Esse raciocínio é válido desde que os demais fatores que interferem na formação dos perfis de solo tenham sido semelhantes aos dos demais perfis, tais como relevo, tempo geológico, condições de drenagem do perfil, etc.

- iv. Na Tabela 1 nota-se nos cinco perfis examinados uma tendência à perda de cátions básicos, parte do silício, e uma nítida concentração nos teores de óxidos de ferro e de alumínio, com a evolução do intemperismo durante a transformação das rochas nos respectivos solos residuais.

Solo	Prof. (m)	Amorfos (%) (Solúvel em NaOH-0.5N)
SM	1.40	12.3
SRJ	3.60	17.5
SRJ	6.30	12.0
SRJ	10.70	7.3
SRJ	13.70	7.5
SRJ	17.95	5.2
RMA	19.35	18.0
RA	20.60	7.2
RA	22.55	3.5
RPA	23.55	0.4
RS	24.25	1.7

Legenda:

SM = solo maduro; SRJ = solo residual jovem; RMA = rocha muito alterada; RA = rocha alterada; RPA = rocha pouco alterada; RS = rocha sã.

Tabela 2 Percentagem de material amorfo dosado pelo método da solução seletiva (Jackson, 1969), de amostras de solos e rochas do Perfil 1.

Os resultados da Tabela 2 se referem aos teores de compostos amorfos de amostras de solos e rochas do Perfil 1.

Os amorfos são considerados compostos minerais naturais, que se caracterizam por terem

uma estrutura cristalina indefinida ou desorganizada. Podem ser amorfos de sílica, alumínio e ferro ou aluminossilicatos. Esses amorfos podem ter influência nas propriedades físico-químicas dos solos, principalmente nos estudos de solos contaminados por metais pesados e outros.

4.2 Análises Mineralógicas

Na Tabela 3 constam os resultados das análises mineralógicas por difratometria de raios X das frações silte e argila das mesmas amostras da Tabela 1.

Amostra	Prof (m)	Fração Argila	Fração Silte
Perfil Nº 1 – Campo Exp.I – PUC-Rio - Gávea			
SRJ	3.6	K	K, Q, M
SRJ	12.2	K, I	K, Q, M, Mi, Gt
RS	24.2	Q, M, Mi, P	Q, M, Mi, P
Perfil Nº 2 – Campo Exp.II – PUC-Rio - Gávea			
SRJ	6.0 – 6.4	K, I, Gt	K, Gt
SRJ	15.0 – 15.5	K, I, Gt	K, Gt, I
RS	31.7 – 33.7	K, I, E	K, I, P, Q, E
Perfil Nº 3 – Laranjeiras – RJ			
SRJ	2.0 – 2.4	K	
SRJ	20.0 – 20.2	K	
RS	39.7 – 40.1	-	
Perfil Nº 4 – Caxias – RJ			
C/SRJ	6.6	K, Gi, Gt, I	K, Gi, Q
SRJ	20.6	K, H, I	I, Q, F
RS	41.0	I, Q, F	
Perfil Nº 5 – Campo Magro - Curitiba			
SRJ	2.0		K, I, Fp
SRJ	11.0		K, I, E, Mi, Bi, Q, Mu, Ab
RS	25.8		K, I, E, Mi, Bi, Q, Mu, Ep

Legenda:

SRJ – Solo Residual Jovem ou Saprolítico; C/SRJ – Transição ; Colúvio / Solo Residual Jovem; RS – Rocha Sã. K – Caulinita; I – Ilita; Cl – Clorita; Q – Quartzo; Mi – Microclina; M – Mica; P – Plagioclásio; Gt – Goetita; E – Esmeclita; Gi – Gibsita; H – Halosita; F – Feldspato; Ep – Epidoto; Bi – Biotita; Mu – Muscovita; Ab – Albita

Tabela 3 Análise Mineralógica – Difração dos Raios X.

Observando-se os dados da Tabela 3 pode ser considerado relevante destacar:

- i. Os argilominerais do grupo caulinita são os minerais secundários mais representativos dos cinco perfis de solo;
- ii. Estes argilominerais também estão presentes

nas frações silte destes solos, o que mostra que a fração argila não deve ser considerada como a única responsável pela atividade dos solos residuais jovens, podendo influenciar nas propriedades resultantes da interação solo-água.

- iii. Os argilominerais do grupo da esmectita, presentes nas amostras de rochas dos Perfis 2 e 5 são de origem hidrotermal e não intempérica. Como este argilomineral é pouco resistente ao intemperismo, não deve estar presente nas amostras de solos residuais com a evolução dos processos intempéricos, podendo se transformar em illita ou em caulinita. A caulinita resultou da reorganização da sílica com o alumínio, provenientes da dissolução dos feldspatos pelos processos intempéricos, principalmente por hidrólise.

São apresentadas nas Figura 29, análises térmicas diferenciais e termogravimétricas de K-feldspatos, coletados em várias profundidades

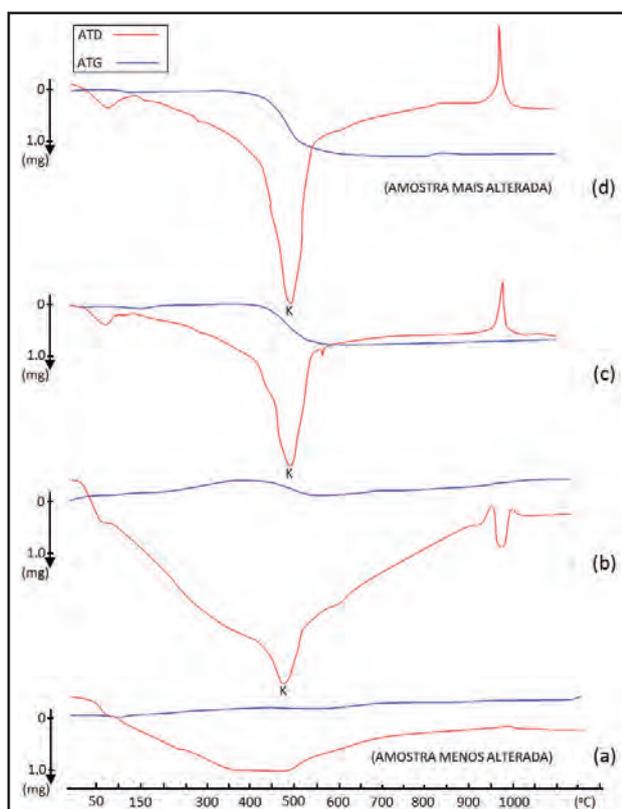


Figura 28 Termogramas de amostras de feldspatos em diferentes estágios de alteração (termoanalisador do Instituto Militar de Engenharia-IME), (a) amostras menos alterada; (d) amostra mais alterada; K – Caulinita.

do Perfil 1, bem como de amostras de rochas em diversas fases de alteração do mesmo perfil. As amostras de feldspato foram extraídas das frações, areia grossa e cascalho, dos solos coletados em várias profundidades deste perfil, enquanto as rochas foram obtidas através de sondagem rotativa do mesmo perfil. A análise térmica diferencial (ATD) registra as transformações que os minerais sofrem, que se manifestam através de deflexões exotérmicas e endotérmicas em função do aumento constante da temperatura; enquanto as correspondentes a análise termogravimétrica (ATG) correspondem as perdas de massa que os minerais sofrem em determinadas faixas de temperatura. As metodologias dessas análises encontram-se detalhadas em Souza Santos (1989).

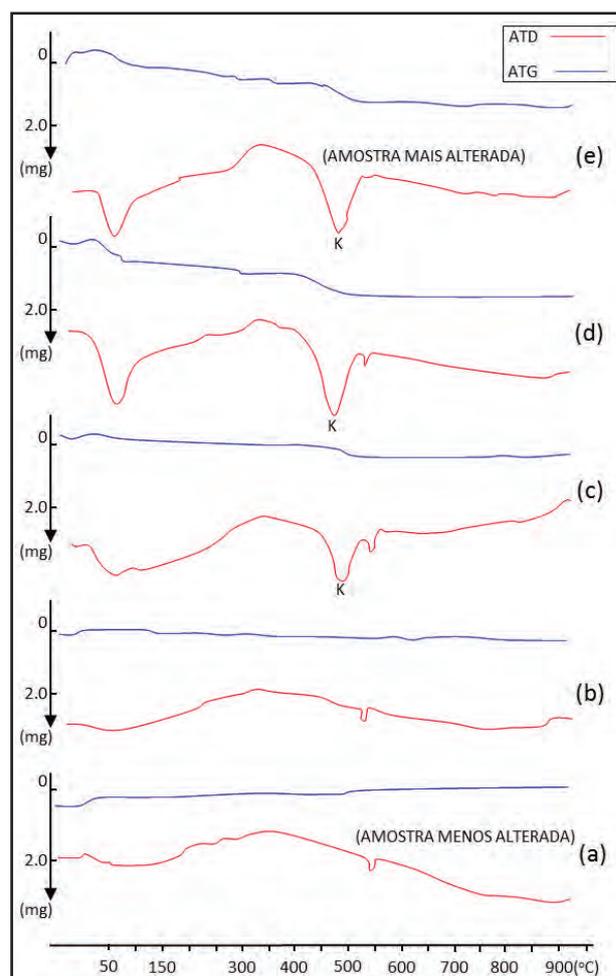


Figura 29 Termogramas das amostras de rocha no perfil de alteração (termoanalisador do Instituto de Energia Nuclear - IEN), (a) amostra de rocha sã; (e) amostra de rochas mais alterada; K – Caulinita.

Os resultados destas figuras permitem as seguintes considerações:

- i. A Figura 29 mostra as transformações dos feldspatos em várias fases de alteração. A Figura 29a corresponde a amostra de feldspato menos alterada, onde aparece uma banda endotérmica que é típica de composto amorfo. Na Figura 29d é constatada a presença dos argilominerais do grupo da caulinita, caracterizados pela deflexão endotérmica, que inicia sua formação entorno de 450°C e termina mais ou menos em 600°C. A perda de massa na análise termogravimétrica (ATG) se refere à remoção da água de constituição da caulinita, representada pelas oxidrilas que fazem parte de sua estrutura cristalina.
- ii. A Figura 28 mostra algumas transformações mineralógicas que as rochas sofreram quando da sua alteração. As Figura 28a e Figura 28b, correspondentes às amostras de rochas são e pouco alterada, não apresentam nenhum sinal de transformação de seus minerais.
- iii. Nas Figura 28c a 28e se percebem a presença da formação de argilominerais do grupo da caulinita, nas amostras de rocha mais alteradas, inclusive com deflexões endotérmicas correspondentes a perda da umidade natural.

5 Considerações Finais

Este artigo teve como proposta principal apresentar de forma resumida e objetiva sugestões sobre a conceituação de solos e suas formações, visando à uniformização de conceitos na área de geologia de engenharia. Foi dado destaque aos perfis de solos residuais desenvolvidos de rochas gnáissicas e constituídos essencialmente por feldspatos, biotita e quartzo em diferentes proporções. Isto porque face às condições ambientais reinantes durante suas formações exibem perfis com destaque para as espessuras consideráveis de seus respectivos solos residuais jovens ou saprolíticos como observado em taludes de corte para diversos fins ou através de sondagens. Devendo também ser ressaltado que os desastres naturais ocorridos nas últimas décadas no estado do Rio de Janeiro e em outros estados estão também associados à presença destes solos.

A presença de heterogeneidades reliquias presentes nos solos residuais jovens ou saprolíticos, herdadas das respectivas rochas de origem, não devem ser descartadas em análises de estabilidade de taludes e de encostas naturais.

6 Referências

- A.G.I. 1957. *Dictionary of Geological Terms*. 2ed. New York: Dolphin Books Edition. 545p.
- Badillo, J. & Rodrigues, R. 1977. *Mecânica de Suelos*. Tomo I. Fundamentos da Mecânica de Suelos. 3ª Edição. Editora Limusa. 642p.
- Baulig, H. 1956. *Vocabulaire Anglo-Franco-Allemand de Géomorphologie*. Fac. De Lettres de l'Université de Strasbourg. 130, 230p.
- Brito, A.T. 1981. *Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaiss Magmático do Campo Experimental da PUC-Rio*. Departamento de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, 283p.
- Caputo, H.P. 1988. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. v.1 6ª Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora. 345 p.
- Caula e Silva, A.M. 1997. Características Químicas e Mineralógicas de um Perfil de Intemperismo de Leptinito. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, 177 p.
- Deere, D.U. & Patton, F.D. 1971. Slope Stability in Residual Soils. In: PAN AMERICAN CONFERENCE ON SOILS MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4, San Juan. Puerto Rico. American Society of Civil Engineers. *Proceedings*, New York, p. 87-170.
- Derruau, M. 1956. *Précis de Géomorphologie*. Paris: Masson et Cie. 393p.
- Espindola, C.R. 2008. *Retrospectiva Crítica Sobre a Pedologia. Um Repasse Bibliográfico*. Universidade Estadual de Campina. Editora UNICAMP. SP. 397p.
- Guerra, A.T. & Guerra, A.J.T. 1997. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 652p.
- Maciel, C.L. 1997. *Introdução à Geologia de Engenharia*. CPRM: UFSM. 284p.
- Mitchel, J.K. 1976. *Fundamentals of Soil Behavior*. Ed. John Wiley & Sons New York. 42p.
- Mousinho, R.M. & Bigarella, J.J. 1965. Movimentos de massa no transporte de detritos da meteorização das rochas. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, 16/17: 43-84.
- Oliveira, E.P. 2008. *Caracterização bio-físico-químico-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de granito-gnaiss de Curitiba, PR*. Departamento de Engenharia Civil, PUC – Rio. Dissertação de Mestrado, 197p.
- Oliveira, J.B. 2001. *Pedologia Aplicada*. FUNEP. Jaboticabal. SP. 414p.
- Pastore, E.L. & Fontes, R.M. 1998. Caracterização e Classificação de solos. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO; S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, p. 197-210.
- Pimentel, J. 1995. *Condicionamentos do desenvolvimento dos perfis de Intemperismo de um Leptinito. Aspectos Morfogênicos da Serra da Carioca, RJ*. Programa

- de Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Dissertação de Mestrado, 148p.
- Polivanov, H. 1998. *Caracterização Química, Mineralógica, Física e Geotécnica de Perfis de Alteração Desenvolvidos de Gnaisses*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Tese de Doutorado, 320 p.
- Rodrigues, J.C. 1977. *Geologia para Engenheiros Civis*. Editora Mac Graw-Hill do Brasil Ltda. 206p.
- Salomão, F.X.T. & Antunes, F.S. 1998. Solos. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 6, p.87-99.
- Sertã, H.B.C. 1986. Aspectos Geológicos e Geotécnicos do Solo Residual do Campo Experimental da PUC-Rio. Departamento de Engenharia Civil, Dissertação de Mestrado. 185p.
- Sousa Pinto, C.S. 2000. *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos. SP, 355p.
- Souza Santos, P. 1989. *Ciência e Tecnologia das Argilas*. 2ª ed. Edgard Blucher. v 1. 408p.
- Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R. & Taioli, F. (Orgs.). 2009. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. 2009. 623p.
- Terzaghi, K.; Ralph, B. & Peck. 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons. New York
The second edition by Ralph B. Peck. 1967. 729p.
- Tognon, A.A. 2012. *Glossário de Termos Técnicos em Geologia de Engenharia e Ambiental*. ABGE. SP. 139p.
- Vargas, M. 1977. *Introdução à Mecânica dos Solos*. Editora Mc Graw Hill. 509p.