

***CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EM SOLOS
DESENVOLVIDOS EM GNAISSE.***

Vitor Hugo Gomes da Silva

Monografia apresentada como requisito obrigatório da disciplina Estágio de Campo IV, no Curso de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Área de concentração: Geologia de Engenharia e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Helena Polivanov (Depto. Geologia/UFRJ)

Avaliada por:

Prof. Dr. Emílio Velloso Barroso – IGEO / UFRJ

Prof. Dra. Helena Polivanov – IGEO / UFRJ

Prof. Dra. Laura Maria Goretti da Motta – COPPE / UFRJ

AGRADECIMENTOS

Neste momento agradeço aos meus pais pela educação a mim dada, principalmente ao meu pai que sempre acreditou no potencial dos seus filhos. A professora Helena Polivanov por ter orientado e dar todo o suporte a esse trabalho, a geóloga Patrícia de Oliveira Moraes pelo apoio e companheirismo dado tanto no trabalho de Campo quanto na parte laboratorial deste trabalho.

Agradeço também à todos meus colegas de curso Fernando Augusto, Leonardo Penha, Erick Tomaz, em especial a Renata Alamino pelo apoio em alguns momentos importantes e a Ingrid Lage pelo longo tempo de amizade, ao Helder pelos bons conselhos e sua historia de vida e a minha eterna companheira e irmã Christiana que sempre esteve comigo em todos acontecimentos importantes na minha vida.

Ao PROFAG (DAE/SR5/UFRJ) pelo apoio financeiro em forma de bolsa, a FUJB pelo empréstimo do GPS, aos técnicos de laboratório Osório Luiz, Roberto G. de Lima e aos demais professores e funcionários do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	4
2.	OBJETIVO	5
2.1.	Objetivo geral.....	5
2.2.	Objetivo específico	5
3.	DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	5
3.1.	Localização e acesso	5
3.2.	Clima e vegetação.....	6
3.3.	Geomorfologia.....	7
3.4.	Geologia Regional	9
3.5.	Descrição morfológica geral do perfil.....	13
3.6.	Geologia Local.....	14
4.	METODOLOGIA E MATERIAL UTILIZADO	17
4.2	Levantamento de campo	18
4.3	Análises de laboratório.....	19
4.3.1	Índices Físicos do Solo.....	19
4.3.1.2	<i>Granulometria</i>	20
4.3.1.3	<i>Densidade Real de Solos</i>	25
4.3.1.4	<i>Densidade Aparente</i>	27
4.3.1.5	<i>Porosidade Natural</i>	27
4.3.1.6	<i>Índice de Vazios</i>	27
4.3.1.7	<i>Limite de Liquidez</i>	28
4.3.1.8	<i>Limite de Plasticidade</i>	29
4.3.1.9	<i>Índice de Plasticidade</i>	30
4.3.2	Mineralogia através da difratometria de Raios-X.....	31
4.3.2.1	<i>Identificação dos minerais utilizando difratometria de Raios-X</i>	33
4.3.3	Análise Química	34
4.3.4	Ensaio Geotécnicos	36
4.3.4.1	<i>Ensaio de Compactação de solos</i>	36
5	DISCUSSÕES DOS DADOS COLETADOS	38
5.1	Análise das tabelas e gráficos.....	38
5.1.1	Índices Físicos do Solo.....	38
5.1.2	Análise Mineralógica - Difração de Raios - X.....	56
5.1.3	Análise química	58
5.1.4	Ensaio geotécnicos.....	65
5.2	Propriedades geotécnicas esperadas.....	70
6	CONCLUSÕES	73
7	RECOMENDAÇÕES	75
8	- BIBLIOGRAFIA	75

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa enfoca perfis de alteração e suas características e correlações químicas, físicas, mineralógicas e geotécnicas.

Entre os trabalhos desenvolvidos podemos os de Sandroni (1973), Rocha Filho (1973), Castro (1974), Campos Bertolucci (1975), Chammas (1976) e Marinho (1984), se preocuparam com as propriedades geotécnicas dos solos residuais. Nas décadas seguintes as pesquisas sofreram um avanço, com trabalhos que forneceram dados químicos e mineralógicos, para melhor compreensão da gênese e conseqüentemente do seu comportamento geotécnico. Entre eles destacam-se Brito (1981), Maciel (1991), Meneses Filho (1993), Barroso (1993), Sobreira (1993), Pimentel (1995), Silva (1997) e Polivanov (1998) além de outros trabalhos sobre o tema, em outras regiões do país como é o caso de Carvalho (2002), feito em Pernambuco.

O intemperismo impõe modificações de natureza química, física e mineralógica sobre as rochas, produzindo efeito significativo nas propriedades geotécnicas. Em regiões de clima tropical o intemperismo desenvolve perfis de solos com grande espessura verificando-se horizontes desde a rocha até o solo maduro passando pelos diversos estágios de alteração. As características morfológicas, químicas e mineralógicas dos perfis de alteração são herdadas do protólito. Dessa forma descontinuidades texturais, estruturais, mineralógicas e geoquímicas das rochas são transferidas para os solos durante os processos intempéricos.

A justificativa desse estudo vem da necessidade de caracterizar os diversos estágios de alteração dos solos procurando verificar as possíveis correlações entre as características químicas, físicas, mineralógicas e geotécnicas em perfis intempéricos.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como principal característica obter parâmetros através da mineralogia, ensaios físicos, químicos e geotécnicos que permita determinar como se processa o intemperismo de uma seqüência de rochas gnaissicas paraderivadas.

O local escolhido para o desenvolvimento desse trabalho é uma saibreira que encontra-se interdita pelos órgãos ambientais do governo, que, devido a sua inatividade, vem causando uma série de problema para a população da localidade tais como: excesso de poeira e assoreamento do córrego local ocasionando enchentes em períodos de chuvas.

2.2. Objetivo específico

Para atingir o objetivo geral dessa pesquisa foi necessário determinar na área de estudo:

- Revisão temática da geologia do município do Rio de Janeiro objetivando a escolha mais adequada do perfil de solo estudado;
- Caracterização dos parâmetros estruturais do perfil estudado;
- Caracterização das propriedades físicas, químicas e geotécnicas de diversos pontos amostrados.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

3.1. Localização e acesso

O local em questão está situado na rua Vale do Paraíso s/n, no entroncamento com a estrada do Covanca na localidade conhecida como Tanque no bairro de Jacarepaguá no Município do Rio de Janeiro. As principais via de acesso são: a Linha Amarela, a avenida Geremário Dantas e a estrada do Covanca.

A figura 1 mostra a localização e principais vias de acesso.

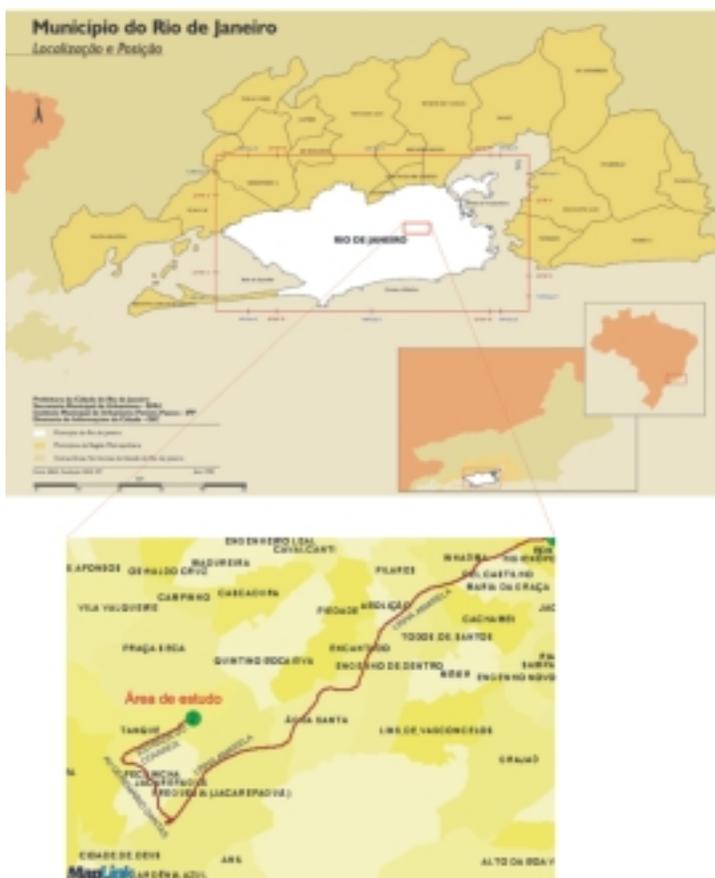


Figura 1 – Localização da área de estudo: localizada em Jacarepaguá-RJ.
Fontes: www.rio.rj.gov.br/iplanrio e www.maplink.com.br

3.2. Clima e vegetação

O clima atuante na área é o tropical de altitude, e de acordo com os dados coletados entre 1967 e 1983, possui uma temperatura mínima mensal média de 19° C, no mês de julho (podendo alcançar 10° C em invernos mais frios) e máxima de 25° C em fevereiro (podendo da mesma forma chegar aos 35° C, nos verões mais quentes). A precipitação anual média, com base nos dados da estação alto da Boavista, é de 2300 mm (Coelho Neto, 1985).

A cobertura vegetal primária não existe mais devido aos desmatamentos, queimadas e processos de favelização. Atualmente a cobertura vegetal restringe-se a pastagem.

3.3. Geomorfologia

Segundo o texto "Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro" (CPRM-2001), a área está inserida em um contexto morfoescultural de maciços costeiros e interiores denominado de Maciço da Tijuca e compreende um conjunto montanhoso relativamente alinhados sob direção WSW-ENE seguindo as feições geotectônicas da faixa Ribeira. Segundo Ferrari (1978), o maciço da Tijuca consiste em blocos soerguidos durante o Cenozóico, paralelo as escarpas da Serra do Mar e da Mantiqueira. A figura 2 mostra o mapa geomorfológico da Baía de Guanabara onde está inserida a área de estudo.

O maciço da Tijuca apresenta-se em meio às baixadas fluvio-marinhas e divide as zonas Sul, Norte e Oeste do município do Rio de Janeiro, atuando como zona dispersora de águas entre as baixadas da Guanabara e de Jacarepaguá. A drenagem segue, freqüentemente, os lineamentos estruturais do substrato conferindo um padrão de drenagem dendrítico a paralelo, corresponde a um agrupamento de pequenos rios, sob o ponto de vista de seus caudais, que se originam nas vertentes dos maciços citados. Estes divisores estabeleceram duas bacias de captação distintas: a bacia leste originada nas vertentes da Tijuca, com os rios Cachoeira, Pedras, Anil, Arroio Fundo e Grande e a bacia oeste originada nas vertentes do Maciço da Pedra Branca e Serra Geral de Guaratiba, com os rio Arroio Pavuna, Camorim, Marinho e Canal de Sernambetiba (Santos, 2001).

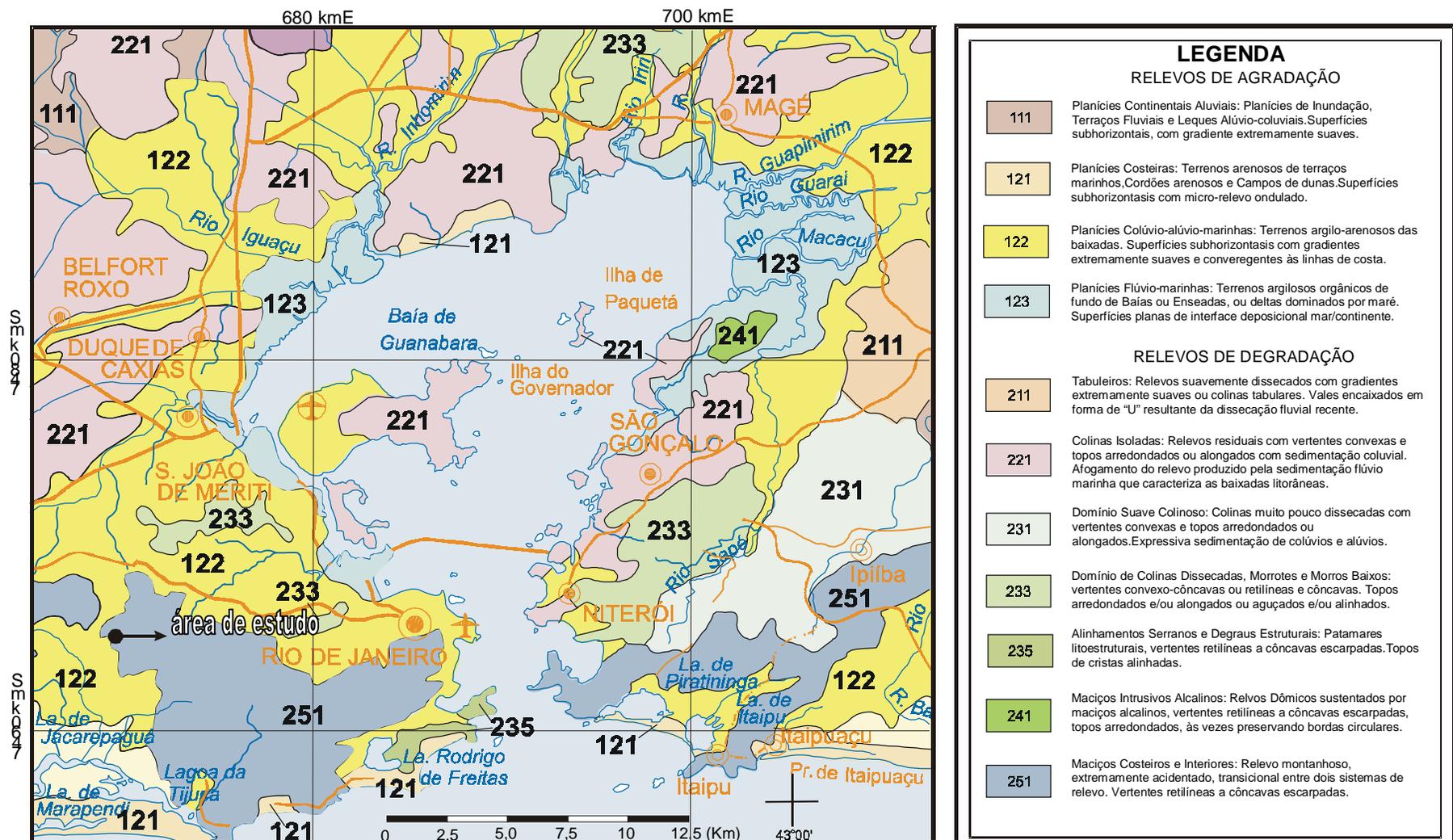


Figura 2– Mapa geomorfológico da região da Baía de Guanabara. A área de estudo está inserida num sistema de relevo de maciços costeiros. (Adaptado de CPRM, 2001, in Lage, 2002)

3.4. Geologia Regional

A geologia da região corresponde à do município do Rio de Janeiro cujos principais maciços são: Tijuca; Mendanha e Pedra Branca (figura 4, pagina 11). Constituída por rochas gnáissicas e graníticas pré-cambrianas, rochas alcalinas terciárias, depósitos continentais cenozóicos, bem como sedimentos holocênicos fluviais, coluviais, marinhos e fluvio-marinhos (Porto Jr, R.; 2002).

A compartimentação tectônica dos terrenos que compõem a geologia do Rio de Janeiro está vinculada à evolução tectono-metamorfica da Faixa Ribeira. Esta evolução orogênica, é considerada por Heibron et al. (1999) como a mais nova no cenário das colagens brasileiras/pan-africanas do segmento crustal considerado, tendo sido responsável pela deformação, metamorfismo, magmatismo dos diversos terrenos.(CPRM; 2001).

A litoestratigrafia do Pré-Cambriano da região está representado pelas rochas do Complexo Paraíba do Sul (Unidade São Fidélis) correspondente a uma margem passiva. Seqüencialmente o Complexo Rio Negro corresponde a uma série de ortognaisses bandados de idade Brasileira (640-480 Ma), pela Unidade Santo Aleixo (gnaisse Archer) para uma fase pré-colisional, pelas Suítes Serra dos Órgãos (Unidade Serra dos Órgãos), Desengano e Rio de Janeiro (Granito Corcovado e Granito Pão de Açúcar) para uma fase pré a sincolisionais e uma fase tardicolisional representada pelo granito Favela (Porto Jr, R.; 2002, *em comunicação pessoal*).

A Unidade São Fidélis é constituída por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos (figura 3): granada-biotita-(silimanita) gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvas), ocorrem bolsões e veios anatéticos de composição granítica de granulação fina a média, levemente bandeado com textura laminar *in situ* ou injetados, com intercalações de gnaisse calcissilicático e quartzito freqüentes (leptinito). Variedades portadoras de cordierita e silimanita (Kinzigitos), comumente apresentando horizontes de xisto grafitoso, exibem contatos transicionais com o granada-biotita gnaisse. Ocorrem em áreas restritas a formação de corpos anfibolíticos e concentração magnésífera (CPRM; 2001) .

A Unidade Rio Negro é formada por um ortognaisse bandado de granulação grossa, com texturas porfiríticas recristalizadas e *augen*. Ocorrem ainda intercalações de metagabro e metadiorito deformados localmente. (CPRM; 2001) (figura 3).

A Unidade Santo Aleixo forma a fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos, constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, com muitos xenólitos de paragnaises parcialmente fundido e assimilado.(CPRM; 2001)(figura 3)

A Unidade Serra dos Órgãos é constituída por um granitóide de granulação grossa e composição cálcio-alcálica (figura 3).

A Suíte Rio de Janeiro é representada pelos granitos Pão de Açúcar, Corcovado que são plútons foliados, com forte e contínuo *fabric* tangencial caracterizado por Biotita e granada como acessórios principais e o leucogranito Cosme velho com granulação média a grossa e forte foliação tangencial. A Suíte Rio de Janeiro é formada por derivação crustal (granito tipo S). (CPRM; 2001) (figura 3)

O granito Favela, embora ocorra também sob a forma de pequenos plutonitos, têm tido maior destaque sob a forma de soleiras e camadas, com contatos concordantes com as direções das encaixantes ou cortando as suas foliações. Pires *et al.* (1982), responsáveis pela descrição original do granito Favela, consideraram que esse corpo representa um diápiro alóctone, em forma de funil ou de cogumelo. Embora a maioria desses plútons esteja representada por hornblenda-biotita granitos, também ocorre uma ampla variedade de rochas com composições variadas: sienogranítica, monzogranítica (adamelítica), granodiorítica, tonalítica e quartzo diorítica. Allanita, titanita, apatita, minerais opacos e zircão são minerais acessórios comuns. Outro aspecto bastante freqüente nesses granitóides é a presença de enclaves tanto das rochas encaixantes, de natureza gnáissica e com formato anguloso ou parcialmente assimilado, como de máficos microgranulares, com formatos variados. Como elementos ligados à fase de cristalização e resfriamento final

desses granitóides aparecem, cortando-os nas mais variadas direções, diques e veios aplíticos e pegmatíticos. (CPRM; 2001) (figura 3)

No Mesozóico temos diques tabulares de sienitos, foialitos, fonolitos, traquitos, tinguitos, fenitos e diabásio (granitóides pós-tectônicos) cortando rochas regionais, predominantemente com direção NW-SE. (CPRM; 2001) (figura 3)

No Quaternário os depósitos mais significativos são os marinhos e fluvio-marinhos e os colúvio-aluvionares. Os primeiros ocorrem em linhas de praias atuais, antigas e manguezais, e tem constituição silto-areno-argilosa, com matéria orgânica. Os depósitos colúvio-aluvionares são aqueles originados por depósitos fluviais e flúvio-marinhos areno-siltico-argilosos, com camadas de cascalheiras, associados a depósitos de tálus, e sedimentos lacustrinos e de manguezal retrabalhados. (Lage, I.; 2002) (figura 3)

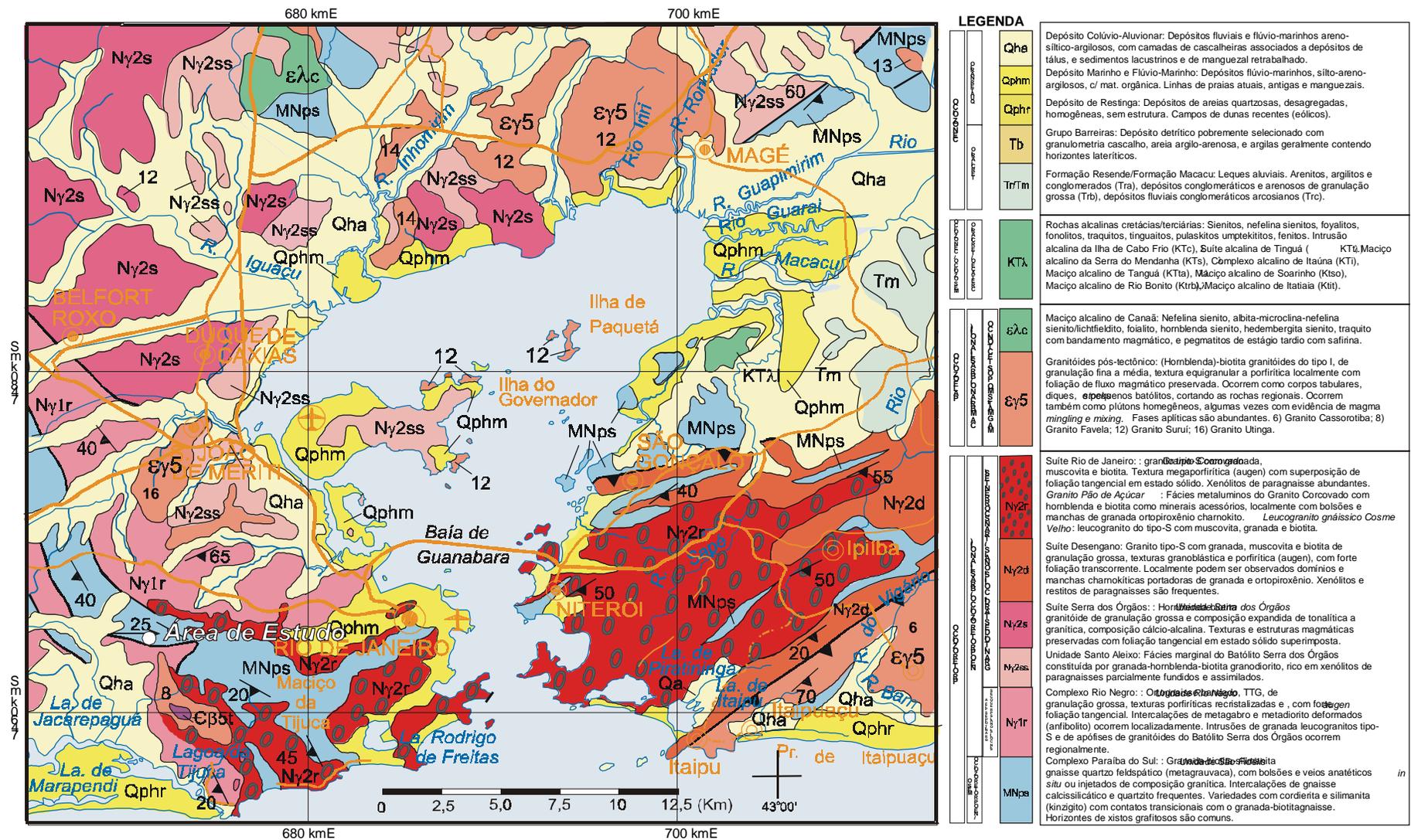


Figura 3– Mapa Geológico do Município de Rio de Janeiro. (Adaptado de CPRM, 2001, in Lage, 2002)

3.5. Descrição morfológica geral do perfil

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL: Cortes dispostos em Bancadas, declive acentuado e pastagem;

LITOLOGIA e MATERIAL DE ORIGEM: Paragneisses com intrusões de rocha básica;

RELEVO: fortemente ondulado

EROSÃO: em sulcos rasos ocasionais

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: não aparente

USO ATUAL: Área de empréstimo

A 0 - 1 m - Bruno escuro (10 YR 3/3, úmido); argiloso com areia fina; médio granular subangulares; muito poros médios; macia, muito friável, ligeiramente plástico e muito pegajoso.

B_t 1 - 2,5 m - amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, seco); argilo-siltoso com areia fina e média; blocos angulares médios; poros comuns pequenos; cerosidade abundante e moderada; ligeiramente duro, firme, compacto, plástico e ligeiramente pegajoso.

C₁ 2,5 m⁺ - Coloração variegada (vermelho claro 10 R 6/6, seco, vermelho 10R 5/8 e vermelho escuro 10 R 3/6); argilo-arenoso fino; médio bloco subangulares; poros comuns pequenos; dura, friável, compacto, plástico, pouco pegajoso .

C₂ 2,5 m⁺ - cinza claro(10 YR 7/2 ,úmido) ; arenoso pouco siltoso; granular; poros comuns; macia, muito friável, não plástico, pouco pegajoso .

RAÍZES: Abundante no horizonte A e poucos no Horizonte B_t e C

OBS: Presença de camadas de quartzito no horizonte B disseminando entre o B e o C. Presença de dique de rocha básica cortando o horizonte C₁ e C₂.

3.6. Geologia Local

A área está inserida dentro do contexto das rochas gnáissicas citadas na geologia regional, a litogia encontrada tem características que correspondem provavelmente a seqüência metassedimentar da Unidade São Fidélis do Complexo Paraíba do sul (figura 3), em que granada-biotita-(silimanita) gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvacas), ocorrem em bolsões e veios anatéticos de composição granítica de granulação fina a média, levemente bandeado com textura laminar. Ocorrem em áreas restritas concentração magnesífera (CPRM; 2001) .

Observando a topografia da região na figura 4 nota-se que a área está no contexto de morros com os topos mais arredondados e mais baixos em relação aos morros correspondentes aos granitos.



Figura 4 – Imagem de satélite que mostra a topografia da região, nota-se que a área de estudo (circulada em branco) esta no contexto de morros com os topos mais arredondados e mais baixos em relação aos morros correspondentes aos granitos

Ressalta-se que a descrição geológica de campo foi realizada com o auxilio do professor Rubem Porto Jr. da UFRRJ durante a execução do trabalho.

No local de estudo foi possível denotar diferentes tipos de litologia. Para diferenciá-las foi utilizado as principais característica como: cor; xistosidade, grau de alteração e mineralogia.

A camada superior é caracterizada pelo horizonte A, pouco espesso de cor bruno escuro. A seguir vem o horizonte B de cor laranja com espessura aproximada de 2,5 metros.

O horizonte C proveniente da alteração do granada-biotita gnaiss é o material predominante na área, tem uma coloração que varia de vermelho claro à escuro (quanto mais escuro, mais férrico), apresenta foliação bem denotada (valor medido $340^{\circ}/35^{\circ}$), encontra-se bastante alterado, apenas podendo ser observados alguns grãos de quartzo finos subarredondados e granadas bastante alteradas, as fraturas ($90^{\circ}/85^{\circ}$) são preenchidas por incrustação de óxido de ferro. Intercalado observa-se um material de cor vermelho-amarelado, muito fraturado, pouco alterado, quartzítico e bastante pedregulhoso, que pode ser observado em detalhe na foto 1.



Foto 1: Litologia avermelhada onde se observa a variação de cor. No detalhe observa-se o acúmulo de óxido de ferro



Na seqüência vem o material de cor cinza claro, que é composto basicamente por quartzo angulosos, feldspato alterado, com xistosidade pouco denotada

pelas micas e granulometria mais grosseira, as fraturas são preenchidas por um material branco, maciço e provavelmente caulinitico. (figura 5).

Na parte esquerda do perfil, recortando perpendicularmente esses litotipos descritos acima, existe um material de cor ocre (cor de ferrugem), bastante fraturado. Seu protólito pode estar associado a um material intrusivo básico, sua granulometria é muito fina e equigranular. Em destaque na foto 2, visualiza-se a alteração típica das rochas básicas em forma esferoidal.



Foto 2: No detalhe mostra-se o intemperismo típico das rochas básicas.

A seguir apresenta-se uma seqüência de fotografias objetivando ilustrar a área estudada e na figura 5 esboçou-se um croqui esquemático com às demarcações das litologias, profundidades observadas em campo e a localização das amostras retiradas para o estudo.

Observa-se que os contatos apresentam-se de forma irregular devido as dobras e pelo dique que corta tais litologias. Observe que os quartzitos ocorrem como lentes isoladas dentro do material de cor avermelhada.



Foto 3: Montagem de fotografias mostrando o local de estudo e a disposições dos perfís onde foram coletadas as amostras

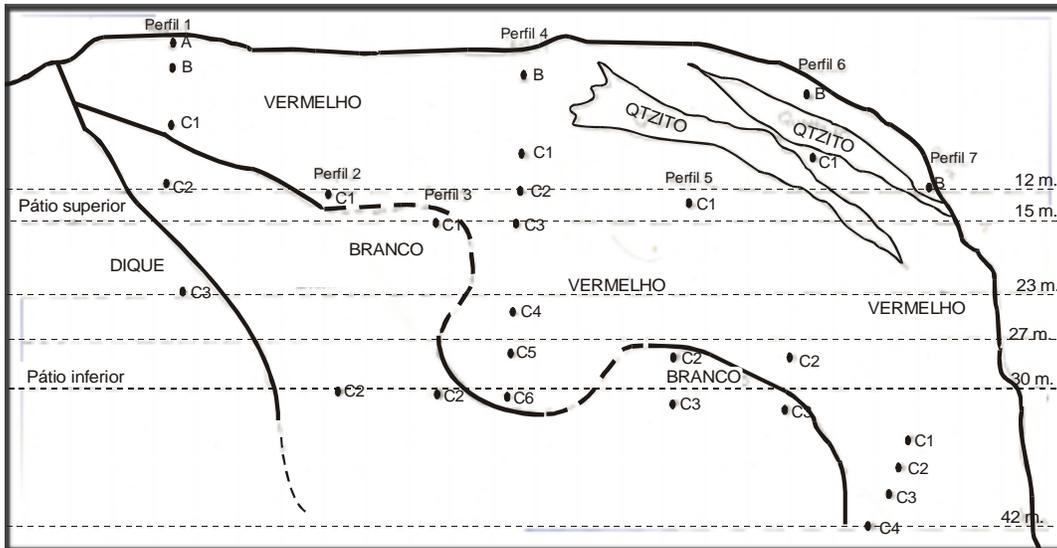


Figura 5: croqui com as litologias e profundidades do perfil, os pontos correspondem as amostras retiradas.

4. METODOLOGIA E MATERIAL UTILIZADO

A metodologia do trabalho foi constituída pelas etapas de levantamento bibliográfico, de campo, retirada de amostras, análise de laboratório e interpretação dos dados obtidos.

4.1 Levantamento Bibliográfico

Consistiu na reunião de dados e análise das informações existentes, principalmente, na consulta de material cartográfico (mapas) e trabalhos técnicos e teses relacionadas ao tema objeto desta pesquisa.

A pesquisa bibliográfica consiste de uma atividade inicial e principal de trabalho realizada antes e durante os trabalhos de campo e laboratório e servindo como embasamento e orientação.

O reconhecimento preliminar da área através do material bibliográfico como mapas, serviu para fornecer subsídios para a definição das unidades que foram identificadas, caracterizadas e delimitadas nos trabalhos de campo.

Alguns materiais cartográficos (mapas) foram essenciais, neste trabalho, como:

- Mapa de solos (Embrapa, 1980) do município do Rio de Janeiro, em escala 1: 50.000;
- Mapa geológico do antigo Estado da Guanabara, em escala 1: 50.000 . (DGM/DNPM, 1965)
- Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, em escala 1: 500.000 (CPRM, 2001).

4.2 Levantamento de campo

Esta etapa utilizou como elementos básicos, os mapas citados no item anterior que serviram para orientar a escolha do perfil estudado.

A escolha da área de estudo proposto nesse trabalho consistiu em encontrar um perfil que apresentasse camada de solo residual espesso, características da rocha matriz e horizonte C bem definido. Escolheu-se para o presente estudo o biotita-gnaíse, após revisão bibliográfica da geologia do município, por esta representar bem as características geológicas do município.

Após a seleção da área de estudo, os trabalhos de campo incluíram a identificação superficial do material através de observação tátil, visual dos diferentes horizontes observados.

Após a limpeza do local escolhido, fez-se abertura de trincheiras de aproximadamente 2 metros por 1,80 metros com auxílio de picareta e espátula, onde foi feita a coleta de 2 kg de solo deformado em sacos plásticos devidamente identificados e lacrados para conservação de suas

características. Em tais amostras foram realizados os ensaios de caracterização física, química e mineralógica.

Também foram coletados blocos indeformados de aproximadamente 50cm³ que foi envolvido por morim, parafinado e identificados(usou-se a parafina para se manter umidade). Em seguida foram colocados em caixotes de madeira para serem transportados em segurança sem risco de ocorrer fraturamentos na amostra. Tais blocos foram utilizados no ensaio de densidade aparente do solo.

A escolha dos pontos obedeceu ao critério de coletar amostras ao longo do perfil tanto na vertical, quanto na horizontal. Essa coleta teve como objetivo estudar a heterogeneidade decorrente do intemperismo, lateralmente e verticalmente ao longo do perfil estudado.

4.3 Análises de laboratório

As análises apresentadas foram realizadas nos laboratórios de via úmida e mecânica dos solos no setor de Geologia de Engenharia e Ambiental – UFRJ. Para cada um destes ensaios foi realizado com amostra de solo deformadas coletadas, descritas na figura 5.

4.3.1 Índices Físicos do Solo

Parte do trabalho que visa estudar as propriedades físicas do solo, que é considerado um sistema disperso constituído de três fases: sólida, líquida e gasosa. O comportamento de um solo depende da quantidade relativa de cada uma dessas três fases (sólidos, água e ar).

A fase sólida é constituída pelos minerais primários e secundários, enquanto que as fases líquida e gasosa ocupam os poros. Portanto para identificar o estado do solo, emprega-se índice que relacionam os pesos e volumes das três fases, tais como a umidade, porosidade, índice de vazios e as densidades aparente e real dos grãos.(SOUSA PINTO, 2000)

4.3.1.1 *Umidade Natural*

Este ensaio foi realizado seguindo a norma de amostras de solo para ensaios de caracterização (DNER - DTP M 41-61). Alguns materiais como cápsulas de metal; estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°C; espátula; e balança de alta precisão foram utilizadas para a determinação da umidade natural.

Colocou-se a amostra úmida naturalmente dentro da cápsula e determinou-se o peso deles juntos. Depois de mantida por 24 horas na estufa, determinou-se o peso da cápsula com a amostra seca. A umidade natural é dada pela seguinte fórmula (1):

$$h = \frac{P_a}{P} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

h = umidade natural;

P_a (peso da água) = peso da cápsula com solo úmido menos o peso da cápsula com o solo seco;

P (peso do solo) = peso da cápsula com solo seco menos o peso da cápsula.

Este ensaio foi realizado três vezes para cada amostra, de modo a obter-se um valor médio de umidade, ou seja, um dado mais preciso.

4.3.1.2 *Granulometria*

A granulometria é uma das propriedades físicas fundamentais do solo e significa a medida do tamanho dos grãos. Serve para caracterizar o tipo de solo, dando uma idéia aproximada de sua permeabilidade e porosidade.

A análise granulométrica dos solos foi efetuada pela combinação do método do peneiramento e da sedimentação (DNER - DTP M 51-64).

Os equipamentos utilizados para a realização do ensaio foram os seguintes: estufa capaz de manter a temperatura entre 105^o e 110^o C; balanças de alta precisão; recipientes adequados, tais como dissecadores, que permitiram guardar a amostra sem variação da umidade; aparelho de dispersão (vulgarmente chamado de “coqueteleira”), com hélices substituíveis e copo munido de chicanas; proveta de vidro, com cerca de 450mm de altura e 65mm de diâmetro, com traço de referência indicando 1,000cm³ a 20^oC; densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20^oC e com resolução de 0,001, graduado de 0,995 a 1,050; termômetro graduado em 0,1^oC, de 0^oC a 50^oC; relógio com indicação de segundos; becher de vidro com capacidade de 250 cm³; proveta de vidro com capacidade de 250cm³ e resolução de 2cm³; tanque para banho, com dimensões adequadas para a imersão das provetas até o traço de referência, capaz de manter a temperatura da suspensão, aproximadamente constante durante a fase de sedimentação; peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075mm, de acordo com a NBR 5734; escova com cerdas metálicas; agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa e fundo; baqueta de vidro e pissete.

As amostras foram secas ao ar e destorroadas, sendo em seguida passada na peneira 2,0mm, tomando-se a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha.

A parte retida foi lavada a fim de eliminar o material fino aderente e foi secada em estufa a 105^oC/110^oC, até constância de massa. O material obtido foi usado no peneiramento grosso.

4.3.1.2.1 Ensaio de Sedimentação

Tomou-se cerca de 70g do material passado na peneira 2,0mm que foi colocado em um becker e misturado, com 125ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7g do sal por 1000 cm³ de solução). Agitou-se o becker até que todo material ficasse imerso e, logo após, este foi deixado em repouso por 24 horas.

Depois do repouso, verteu-se a mistura no copo de dispersão, removendo-se com auxílio do pissete com água destilada o material aderido ao becker. Adicionou-se água destilada até o seu nível ficar à 5cm das bordas do copo e, então, a amostra foi submetida à ação do aparelho dispersor durante 15 minutos.

Feito a dispersão, foi transferido o material do copo para a proveta com o auxílio da pissete com água destilada para remover o material que ficou aderido ao copo. Juntou-se água destilada até o traço de 1000 cm³; em seguida colocou-se a proveta no tanque para banho para que a temperatura do material permanecesse constante. Após o equilíbrio da temperatura o material dentro da proveta foi agitado de forma enérgica durante um minuto.

Logo em seguida foi anotada a hora exata do início da sedimentação mergulhando-se, cuidadosamente, o densímetro na dispersão efetuando-se as leituras do densímetro correspondentes aos tempos de sedimentação (t) de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos e 1, 2, 4 e 24 horas, a contar do início da sedimentação. Aproximadamente de 15 a 20 segundos antes de cada leitura, mergulhou-se lenta e cuidadosamente o densímetro na dispersão.

Assim que cada leitura era efetuada, o densímetro era retirado da dispersão e colocado numa proveta com água limpa, à mesma temperatura da dispersão. Após cada leitura, verificou-se a temperatura da dispersão, com resolução de 0,1°C.

Realizada a última leitura, verteu-se o material da proveta na peneira de 0,075mm, procedendo-se à remoção com água de todo material que tivesse aderido às suas paredes e efetuou-se a lavagem do mesmo na peneira mencionada, empregando-se água potável à baixa pressão.

- Peneiramento Fino: o material retido na peneira 0,075mm foi secado em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, até constância de massa, e, utilizando-se o agitador mecânico, o material foi passado nas peneiras

de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075mm, anotando-se as massas retidas em cada peneira com resolução de 0,01g.

- Peneiramento Grosso: o material retido na peneira 2,0mm foi pesado e, utilizando o agitador mecânico, este foi passado nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8mm, anotando-se as massas obtidas em cada peneira com resolução de 0,01g.

Cálculos:

- Massa total da amostra seca:

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{100 + h} \times 100 + M_g \quad (2)$$

Onde:

M_s = massa total seca

M_t = massa da amostra seca ao ar

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0mm

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm

- Porcentagens dos materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, e 2,0mm:

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

Q_g = porcentagem do material passado em cada peneira

M_s = massa total da amostra seca

M_i = massa do material retido em cada peneira

- Porcentagens de material em suspensão:

$$Q_s = \frac{N \times \left(\frac{\gamma}{\gamma - \gamma_d} \right) \times V \times \gamma_c \times (L - L_d) / Mh + 100}{100 + h} \quad (4)$$

Onde:

Q_s = porcentagem do solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0mm;

δ = massa específica dos grãos do solo;

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm^3 ;

V = volume da suspensão, em cm^3 ;

δ_c = massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro ($20^\circ C$), em g/cm^3 ;

L = leitura do densímetro na suspensão;

L_d = leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura da dispersão;

M_h = massa do material úmido submetido à sedimentação, em g;

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm;

- Diâmetro das partículas de solo em suspensão é dado por:

$$d^2 = \frac{1800\mu}{\gamma - \gamma_d} \times \frac{a}{t} \quad (5)$$

Onde:

d = diâmetro máximo das partículas, em mm;

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em $g \times s/cm^2$;

a = altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente à leitura do densímetro, em cm;

t = tempo de sedimentação, em s;

δ = massa específica dos grãos do solo;

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm^3 ;

Observação: para efeito de cálculo, considerar $\delta_d = 1,000g/cm^3$ e μ correspondente ao coeficiente de viscosidade da água segundo a tabela 1:

Tabela 1: Valores da viscosidade em $10^{-6}g \times s/cm^2$.

$^\circ C$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	13,36	12,99	12,63	12,30	11,98	11,68	11,38	11,09	10,81	10,54

20	10,29	10,03	9,80	9,56	9,34	9,13	8,92	8,72	8,52	8,34
30	8,16	7,98	7,82	7,66	7,50	7,45	7,20	7,06	6,92	6,79

- Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25, 0,15 e 0,075mm:

$$Q_f = \frac{Mh \times 100 - M_i(100 + h)}{Mh \times 100} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

Q_f = porcentagem do material passado em cada peneira

M_h = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino

h = umidade higroscópica do material passado na peneira 2,0mm

M_i = massa do material retido em cada peneira

N = porcentagem do material que passa na peneira de 2,0mm

4.3.1.3 *Densidade Real de Solos*

De acordo com este ensaio (DNER – DPT M 93-64) a aparelhagem requerida para realizá-lo foi: peneira de 2,0 mm; balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01 g; repartidor de amostras de 1,3 cm de abertura; estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°C; termômetro graduado em 0,5°C, de 0 a 60°C; aquecedor; picnômetro com capacidade de 50 ml; funil de 5 cm de diâmetro; pegador de madeira; cápsula de porcelana com 5 cm de diâmetro; e dissecador.

Inicialmente, secou-se a amostra na estufa e depois de esfriada no dissecador tomou-se, então, 10 g de solo como amostra a ensaiar.

Pesou-se o picnômetro, limpo e seco (P_1) e colocou-se a amostra dentro deste para pesá-los juntos (P_2). Foi adicionada água destilada no picnômetro até cobrir a amostra com excesso.

Aqueceu-se o picnômetro, deixando ferver pelo menos 15 minutos, para expulsar todo ar existente entre as partículas do solo, agitando-se para evitar superaquecimento.

Após o aquecimento deixou-se o picnômetro esfriar à temperatura ambiente e depois foi acrescentado água destilada até o traço de referência e, então, enxugado com um pano limpo e seco.

O picnômetro e seu conteúdo foi pesado (P_3) anotando-se a sua temperatura (t_1). Todo o material dentro do picnômetro foi retirado, lavado e enchido com água destilada até o traço de referência à temperatura t_1 , enxugando-o com um pano limpo e seco e pesando-o (P_4) em seguida.

A densidade real dos solos à temperatura t_1 (D_{t_1}) é dada pela seguinte fórmula:

$$D_{t_1} = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (7)$$

O resultado final foi expresso em número adimensional e com aproximação de centésimos. Este resultado só foi considerado quando obtido pela média de duas determinações, no mínimo, e quando não diferiram de mais de 0,009.

O valor da densidade real foi calculado à temperatura de 20°C, água t_1 , como mostrado a seguir:

$$D_{20} = K_{20} \times D_t \quad (8)$$

Em que:

D_{20} = densidade real do solo a 20°C;

K_{20} = razão entre a densidade relativa da água à temperatura t e a densidade relativa da água a 20°C, obtida na tabela de correção;

D_{t_1} = densidade real do solo à temperatura t_1 .

4.3.1.4 Densidade Aparente

Seguindo o método de ensaio DNER-77-63 para determinar a densidade aparente, foi usado o caso II onde se tem textura permeável e índice de vazios acima de 7%.

Para este ensaio usou-se: Balança; fogareiro; recipiente e parafina. Primeiro retirou-se uma pequena fração da amostra indeformada e pesou-se (P_1); logo em seguida foi derretida parafina e aplicada no material e pesou-se novamente (P_2); esse material parafinado foi submerso em água e pesado novamente (P_3). Após isso usou-se a fórmula na qual se aplica as medidas de peso obtida e o peso específico da parafina ($\rho_p = 0,89 \text{ g/cm}^3$)

$$d = \frac{P_1}{(P_2 - P_3) - (P_2 - P_1 / \rho_p)} \quad (9)$$

4.3.1.5 Porosidade Natural

Obtido da relação entre a densidade real dos grãos e a densidade aparente do solo através da formula(10):

$$n = \frac{100 * (\delta_{real} - \gamma_{ap})_1}{\delta_{real}} \quad (10), \text{ (Embrapa, 1979 in Polivanov, 1998).}$$

4.3.1.6 Índice de Vazios

Também obtido da relação entre densidade real e a densidade aparente através da formula(11):

$$e = \left(\frac{\delta_{real}}{\gamma_{ap}} \right) - 1 \quad (11) \text{ (Embrapa, 1979 in Polivanov, 1998).}$$

4.3.1.7 *Limite de Liquidez*

Seguindo a Norma DNER - DTP M 44-64 os equipamentos necessários para a realização deste ensaio foram: aparelho Casagrande, calibrado para que a altura de queda da concha seja de 1cm; cinzéis específicos para este aparelho; balança com capacidade de 200g, sensível a 0,01g; estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°C; recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem; cápsula de porcelana com capacidade de 500ml; e espátula com lâmina flexível de cerca de 8 cm de comprimento e 2cm de largura.

Inicialmente, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas na peneira 0,42 mm, tomando-se 70g da mesma. Está foi colocada em uma cápsula de porcelana, na qual foi-se adicionando água destilada em pequenos incrementos, misturando-se, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a se obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 50 golpes do aparelho Casagrande para fechar a ranhura.

Transferiu-se parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura fosse da ordem de 10 mm. Tomou-se o devido cuidado para que não houvesse bolhas de ar no interior da mistura. O excesso de solo no aparelho foi retornado à cápsula.

Com o uso do cinzel, dividiu-se a massa de solo em duas partes, abrindo-se uma canelura em seu centro, normalmente à articulação da concha. Logo a seguir começou-se a golpear a concha do aparelho contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anotou-se, então, o número de golpes realizados até que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de, aproximadamente, 13 mm de comprimento.

As pequenas quantidades do material que ficavam junto das bordas que se uniram (cerca de 1cm²) foram transferidas, imediatamente, para um recipiente adequado para a determinação da umidade através da fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

h – teor de umidade em porcentagem;

P_h – peso do material úmido;

P_s – peso do material seco na estufa.

Transferiu-se o restante da massa para a cápsula e foram repetidas as operações anteriores, adicionando-se água gradativamente crescente de tal forma que o número de golpes necessários para unir as bordas da canelura fossem próximos de 50, 40, 30, 20 e 10.

Com os resultados obtidos, construiu-se um gráfico na qual as ordenadas (em escala logarítmica) são os números de golpes e as abcissas (em escala aritmética) são os teores de umidade correspondentes e foi ajustada uma reta pelos pontos assim obtidos.

Finalmente, foi obtida na reta o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo. O resultado obtido é expresso em porcentagem, aproximado para o número inteiro mais próximo.

4.3.1.8 *Limite de Plasticidade*

Conforme a Norma DNER - DTP M 82-63, a aparelhagem necessária para a realização deste ensaio foram: cápsula de porcelana com capacidade de 500ml; espátula com lâmina flexível de cerca de 8 cm de comprimento e de 2cm de largura; placa de vidro de superfície esmerilhada; cilindro de comparação de 3 mm de diâmetro e cerca de 10cm de comprimento; recipientes que permitam guardar amostras sem perda de umidade antes de sua pesagem; balança com capacidade de 200g, sensível a 0,01g; e estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°C.

O ensaio foi realizado tomando-se cerca de 50 g de amostra que foi seca ao ar e destorroada, colocando-a na cápsula de porcelana e adicionando-se água destilada em pequenos incrementos, misturando-a de forma intensa utilizando a espátula, de forma a se obter uma pasta homogênea, de consistência plástica.

Tomou-se, então, 10g da amostra assim preparada e formou-se uma pequena bola, que foi rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro.

Se a amostra se fragmentava antes de atingir o diâmetro de 3mm, esta era retornada à cápsula de porcelana para se adicionar mais água destilada e repetir os procedimentos anteriores. Se a amostra atingisse os 3mm sem se fragmentar, o material era amassado e recomeçava-se o rolamento desta sobre a placa de vidro.

Quando o cilindro se fragmentava com o diâmetro de 3mm e o comprimento de 100mm (verifica-se com o cilindro de comparação), este era transferido imediatamente para um recipiente adequado, para a determinação da umidade, utilizando a fórmula (13):

$$h = \frac{Ph - P_s}{P_s} \quad (13), \text{ cujos componentes são como os descritos no limite de}$$

liquidez.

As operações anteriores foram repetidas até se obter 3 valores que não diferiram da respectiva média de 5%. O resultado final, ou seja, a média destes três valores considerados satisfatórios, foi expresso em porcentagem aproximado para o número inteiro mais próximo.

4.3.1.9 *Índice de Plasticidade*

Este índice é calculado pela diferença numérica entre limite de liquidez e o limite de plasticidade: $IP = LL - LP$ (14). Seu resultado final é expresso em

porcentagem. Quando o limite de liquidez ou o limite de plasticidade não puderam ser determinados, o índice de plasticidade foi anotado como NP (não plástico).

4.3.2 Mineralogia através da difratometria de Raios-X

As frações de argila e silte destinadas à análise mineralógica foram separadas baseando-se nos princípios da Lei de Stokes para o fracionamento granulométrico pelo método da pipetagem. Este método mostra a interação da velocidade de decantação da partícula em meio fluido, com a aceleração da gravidade, o raio da partícula, sua forma, sua densidade, a densidade do fluido, sua textura de superfície e viscosidade do fluido (Suguio, 1973).

Para a realização do ensaio seguiu-se as normas utilizadas no Laboratório de via úmida do Setor de geologia de engenharia e ambiental do Departamento de geologia (IGEO- UFRJ) (Polivanov, 2000 *in Notas de aula*).

Pesaram-se cerca de 50 gramas de material que passou por uma peneira de 2,00 mm. Em becher de propileno, adicionou-se à amostra 100 ml de água destilada e 5 ml de hidróxido de sódio 1N. Agitou-se por dois minutos e deixou-se em repouso por 24h. A seguir, o material foi transferido para uma coqueteleira e agitado por 15 minutos. Então, foi passado por peneira de 0,053mm de abertura, sendo lavado e passado para proveta. Desta forma, a areia, granulometria superior a 0,125mm ficou retida na peneira.

Já a separação das frações silte e argila foram feitas após o material ter sido peneirado e colocado em proveta de 1 litro. Depois do material, que estava na proveta, ser agitado por dois minutos, esperou-se 24 h para a coleta dos 20cm iniciais, correspondentes à fração argila, granulometria inferior a 0,002mm.

Depois, a proveta foi completada até 1 litro com água destilada e agitada novamente por dois minutos para a próxima coleta. Este procedimento foi repetido 3 vezes, até que seja obtida uma quantidade significativa de argila para realização das análises segundo Polivanov (1998).

A fração silte foi separada do restante de argila que estava na proveta por pipetagem. Depois de agitar o conteúdo da proveta por 2 minutos, esperou-se 15 minutos para que os 20cm iniciais da proveta fossem desprezados. Este procedimento foi realizado até que só restasse a fração silte na proveta. A concentração e lavagem da fração argila foi realizada em centrífuga Himac-CR21-HITACHI atingindo 18.000 r.p.m.

Para caracterização por difratometria, utilizou-se o aparelho de Difração de Raios-X do Setor de Geologia de Engenharia do Departamento de Geologia do IGEO-UFRJ, com as seguintes condições: difratômetro Rigaku-Termoflex, contador proporcional, 40Kv, 30mA, tubo de cobre, filtro de níquel e velocidade de 1° por minuto.

Na fração argila, realizou-se a remoção de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio a 30%, carbonatos com solução tampão pH 5 e ferro livre com citrato-bicarbonato-ditionito de sódio. As amostras foram saturadas com cloreto de potássio 1N (aquecidas) e cloreto de magnésio 1N (glicoladas) conforme preconizado por Jackson (1969).

As frações argila, silte e areia, depois de separadas conforme método descrito anteriormente, foram montadas em lâminas de vidro, onde a orientação da fração argila foi realizada pela técnica do esfregaço (Theisen e Harvard, 1962), a fração silte pelo método do gotejamento, conforme Embrapa (1979).

As lâminas glicoladas permaneceram em atmosfera saturada com etileno-glicol por uma noite e as saturadas com potássio foram aquecidas em forno mufla a 350°C e 550°C, por quatro horas. Foram executadas quatro análises por difratometria por raios-X por amostra de argila:

1. Amostra guia, sem nenhum tratamento prévio;
2. Amostra saturada com magnésio e glicolada, objetivando determinar minerais expansivos;
3. Amostra saturada com potássio e aquecidas a 350°C;

4. Amostra saturada com potássio e aquecida a 550°C, objetivando investigar colapso e/ou destruição da estrutura dos argilominerais.

4.3.2.1 *Identificação dos minerais utilizando difratometria de Raios-X*

O início da interpretação dos difratogramas é a marcação das posições angulares das reflexões difratadas, representadas em forma de picos. A conversão dos valores angulares, em graus de 2θ , em espaçamento interplanar (d , em Å) se dá através de tabelas com resoluções diretas da Lei de Bragg (Formoso, 1984).

Obtidos da interpretação os valores de d , estes são levados para tabelas especialmente preparadas para identificação dos minerais. Nessas tabelas, os valores de d são acompanhados da intensidade relativa dos picos, em termos de porcentagem. No mineral a ser identificado seleciona-se uma reflexão mais intensa. Por exemplo, para os grupos de argilominerais, o espaçamento de suas unidades estruturais é: 7Å para as caulinitas; 10Å para os do grupo da illita; cerca de 14Å para os da clorita, vermiculita e esmectitas.

Depois de identificadas as reflexões mais intensas, faz-se a comparação das demais reflexões: 3,57 e 2,38Å para as caulinitas; 5 e 3,36Å para o grupo da illita; 7 e 4,7Å para as vermiculitas e cloritas; e para as esmectitas em torno de 5Å. A coincidência de valores, ou quase coincidência leva a identificação do mineral. As tabelas utilizadas na identificação dos minerais para este trabalho foram as publicadas por Souza (1966), e as tabelas compiladas de Brown (1972), Bailey (1980) e Thorez (1975 e 1976), *in* Alves (1989).

Como se pode perceber, os argilominerais do grupo das cloritas, vermiculitas e esmectitas têm distância interplanar muito próximas, o que pode confundir durante a interpretação da amostra. Para isso utilizam-se os tratamentos de saturação com cátions de Mg^{++} e K^+ , com glicolação e aquecimento, respectivamente.

A diferença entre os argilominerais é feita após o tratamento das amostras. Quando glicoladas as vermiculitas permanecem a 14 Å, enquanto as

esmectitas expandem para 17Å. As ilitas, cloritas e vermiculitas não são afetadas por estes tratamentos, permanecendo com seus picos iniciais. Com o aquecimento as cloritas e ilitas mantêm os picos originais, enquanto as vermiculitas contraem para 10Å e as caulinitas não resistem ao aquecimento, perdendo sua estrutura.

Quando os minerais a serem identificados estão contidos nas frações silte e areia, não é necessário nenhum tipo de tratamento, podendo ser identificados somente com base no difratograma do material seco ao ar.

4.3.3 Análise Química

4.3.3.1 Ensaios de Potencial Hidrogênico – pH

Misturou-se 10 g de amostra com 25 ml de água e agitou-se. Depois de cerca de uma hora de repouso este foi agitado novamente e levado para o medidor de pH.

As análises de pH foram realizadas afim de designar a acidez ou a alcalinidade dos solos. A escala de acidez é baseada no logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio do solo.

$$\text{pH} = \log_{10} 1 / [\text{H}^+] \quad (15)$$

Quando os solos possuem predominância de hidrogênio sobre hidróxidos, são chamados ácidos (com extremo chegando a 3,5). Quando contrário, são chamados alcalinos (com máximo de 10). Outros, os quais possuem igual concentração de íons de hidrogênio e hidróxidos, são chamados neutros (pH=7). A variação mais comum no pH em solos de regiões úmidas é de 5 a 7 (Brady, 1974).

As análises foram determinadas potencialmente numa suspensão solo-líquido na proporção 1 : 2,5 (Embrapa, 1979).

Define-se ΔpH como sendo a variação do pH, que é calculado pela diferença entre o pH determinado em KCl 1N e em água através da fórmula:

$$\Delta\text{pH} = (\text{pH KCl 1N}) - (\text{pH H}_2\text{O}) \quad (16)$$

Classifica-se da seguinte forma:

- $\Delta\text{pH}=0$ → Ponto de Carga Zero (PCZ), ponto em que o pH está em equilíbrio com o solo;
- $\Delta\text{pH}>0$ → colóides com cargas positivas;
- $\Delta\text{pH}<0$ → colóides com cargas negativas.

4.3.3.2 *Ensaio de Análises Químicas Totais*

Foram realizados no Laboratório de Fluorescência de Raios - X, no Departamento de geologia (IGEO-UFRJ), com coordenação do Prof. Júlio Mendes, com as seguintes determinações: Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3 e ZrO_2 , através do método de fluorescência de raios - X.

As amostras minerais, sejam em pó, sejam na pastilha prensada, são excitadas por uma fonte de raios - X com as radiações dispersas por meio de cristal analisador cobrindo intervalo de 0,2 a 18 Å. A varredura completa do espectro formado é feita pelo detector em 20 minutos, registrando no papel todos os picos ou linhas em função da distância angular (2θ) percorrida pelo goniômetro.

4.3.3.3 *Ensaio de Análises Químicas Seletivas*

Foram realizadas segundo as normas da Embrapa (1979). Consistiram nos seguintes ensaios:

- *Complexo sortivo*

Ensaio que analisa a capacidade de troca catiônica (CTC), através dos cátions Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Al^{++} e H^+ . Através desses cátions trocáveis é possível analisar algumas relações tais como:

- valor S - Diz respeito a soma da bases extraíveis Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+
- Valor T - Em que $T = S + \text{Al}^{++} + \text{H}^+$. É a CTC e também representa a atividade das argilas (pode ser alta (Ta) em que $T > 27 \text{ meq}/100\text{g}$ ou baixa (Tb) em que $T < 27 \text{ meq}/100\text{g}$);
- Valor V (%) - É a saturação das bases trocáveis em que $V = S \times 100/T$. Pode ser classificado como: Eutrófico ($V > 50\%$ indica menor intemperismo); Distróficos ($V < 50\%$ solos pouco férteis);
- $100\text{Al}^{3+}/(S + \text{Al}^{3+})$ - É a saturação de alumínio trocáveis e quando é maior que 50% são classificados como álicos que significa que são pouco férteis.

- *Ataque sulfúrico*

Consiste em um ataque seletivo onde são analisados os seguintes compostos: Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 em que as principais relações são dadas pelas formulas 17, 18 e 19:

- $$K_i = (\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,7 \quad (17)$$

- $$K_r = (\text{SiO}_2 \times 1,7) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)) \quad (18)$$

- Relação $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 \quad (19)$

4.3.4 Ensaios Geotécnicos

4.3.4.1 Ensaio de Compactação de solos

O ensaio de compactação foi realizado seguindo o método de ensaio DNER-47-64, Método A, que usa a compactação Proctor energia normal. Fixa o modo

pelo qual se determina a correlação entre o teor de umidade de solo e sua massa específica aparente, quando a fração de solo que passa na peneira de 19mm é compactada.

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- Repartidor de amostras de 2,5cm de abertura;
- Balança com capacidade de 10kg, sensível a 5g;
- Balança com capacidade de 1kg, sensível a 0,1g;
- Peneiras de 19mm e de 4,8mm, de acordo com a especificação "Peneiras de malhas quadradas para análise granulométricas de solos" ABNT EB-22R;
- Cápsula de porcelana ou alumínio com capacidade de 75ml;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°c;
- Molde cilíndrico metálico de 15,20cm de diâmetro interno e 17,80cm de altura; cilíndrico complementar e base metálica com dispositivo para fixação ao molde;
- Soquete cilíndrico de face inferior plana e peso de 4,50kg, equipado com dispositivo para controle de altura de queda;
- Disco espaçador com 15 cm de diâmetro e de 6,40cm de altura;
- Espátula com lâmina flexível;
- Régua de aço de cerca de 30 cm;

A amostra recebida é seca ao ar, destorroada no almofariz com a mão de gral, homogeneizada e reduzida, com o auxílio do repartidor de amostras ou por quarteamento, até se obter uma amostra representativa de 6.000 g para solos siltosos ou argilosos e 7.000 g, para solos arenosos ou pedregulhosos;

Passa-se esta amostra representativa na peneira de 19 mm; havendo material retido nessa peneira, procede-se à substituição do mesmo por igual quantidade em peso do material passando na de 19 mm e retido na de 4,8 mm, obtido de outra amostras representativa conforme o método;

Fixa -se o molde à base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apóia-se o conjunto em base plana e firme. Compacta-se no molde com o disco espaçador, com o fundo falso o material em cinco camadas iguais, de forma a se ter uma altura total de solo de cerca de 12,5 cm, após compactação; cada

camada receberá 12 golpes do soquete, caindo de 45,70 cm, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada;

Remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes o cuidado de destacar com a espátula o material a ele aderente. Com uma régua de aço rasa-se o material exato do molde e determina-se, com precisão de 5 g, o peso do material úmido compactado mais o peso do molde (P_h), esse material é posto para secar em uma estufa à 105 ° C e pesado (P_s), para a determinação da umidade através da fórmula (20):

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (20)$$

O material compactado e úmido no cilindro é pesado e anotado em uma ficha onde há: O peso do molde já conhecido e o volume por ele suportado.

Através das relações:

$P(\text{Amostra} + \text{molde} + \text{água}) - P(\text{molde}) = P(\text{Amostra úmida})$;

$P(\text{Amostra úmida}) / \text{Volume da amostra} = \text{Massa esp. aparente úmida } (\gamma_h)$;

Finalmente se obtém a Massa esp. Aparente seca (μ_s), através da formula(21):

$$\mu_s = \frac{100}{100 + h} \times \gamma_h \quad (21)$$

Onde é feito um gráfico $\mu_s \times h$ para se obter a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima.

5 DISCUSSÕES DOS DADOS COLETADOS

5.1 Análise das tabelas e gráficos

5.1.1 Índices Físicos do Solo

5.1.1.1 *Granulometria*

Para o reconhecimento do tamanho dos grãos de um solo, realizou-se a análise granulométrica, consistindo em duas fases: o peneiramento e a sedimentação para as frações menores que 0,075 mm. Os valores encontrados ao longo do perfil serão apresentados nas tabelas 2 à 8 analisadas em conjunto com croqui em que se mostra a disposição das amostras na figura 5 da pagina 16:

Tabela 2- granulometria perfil 1.

PERFIL 1 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
A	1	1,35	7,20	20,00	19,92	8,40	22,31	20,79	1,07
B	2,5	0,57	1,66	9,77	10,80	6,99	46,85	23,4	2,00
C1	8	0,44	4,37	17,59	17,14	8,28	30,6	21,64	1,41
C2	12	0,55	8,85	16,45	20,00	13,40	32,08	8,68	3,70
C3	23	0	0,00	0,67	4,03	5,35	57,70	32,3	1,79

Os valores apresentados na tabela 2 mostram que o perfil 1 é heterogêneo, não mostrando uma evolução intempérica gradual, fato observado em virtude das diferentes litologias no perfil. O horizonte C2 apresentou maior valor percentual de areia por ser de textura mais granular, conforme observado em campo. O horizonte C3 apresentou valores mais acentuados de silte e argila por ser um material com textura fina, conforme identificado em campo.

Tabela 3- granulometria perfil 2.

PERFIL 2 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
C1	12	3,00	4,96	19,94	12,90	4,41	35,18	19,64	1,79
C2	30	3,86	8,53	12,81	7,22	2,85	44,68	20,1	2,22

O perfil 2 mostrou um certo grau de homogeneidade como demonstra a tabela 3, pois é constituído de materiais muito parecidos, pois o horizonte C1 está em uma zona de transição e apresenta textura e percentual de argila semelhantes.

Tabela 4 - granulometria perfil 3.

PERFIL 3 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
C1	15	0,68	6,97	18,98	36,76	15,41	12,55	8,66	1,45
C2	30	3,10	3,80	15,77	22,49	20,26	20,72	13,88	1,49

Observando os valores da tabela 4, o perfil 3 apresenta-se bastante homogêneo, em virtude principalmente da litologia que caracterizou as amostras como sendo granulares. Ressalta-se que o percentual de silte e argila aumenta com a profundidade mostrando maior maturidade do material.

Tabela 5 - granulometria perfil 4.

PERFIL 4 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
B	2	0,00	3,74	8,65	13,95	10,34	40,51	22,87	1,77
C1	8	0,22	2,57	13,98	15,11	4,62	45,38	18,12	2,50
C2	12	0,18	2,78	13,72	12,08	5,23	46,38	19,64	2,36
C3	15	0,00	3,00	13,90	9,20	6,90	47,10	19,90	2,37
C4	23	0,13	1,47	8,46	8,03	13,11	51,92	16,88	3,08
C5	27	0,15	0,70	7,80	7,21	1,80	59,40	23,25	2,55
C6	30	0,70	10,40	25,4	7,90	2,48	40,82	12,30	3,32

Observando os valores da tabela 5 correspondente ao perfil 4, em que se analisou o comportamento da granulometria do biotita gnaïsse, observa-se que há tendência a uma evolução intempérica gradual com aumento da profundidade denotado pela relação silte/argila. O horizonte C6 é o que apresenta menor valor percentual de argila, pois está na zona de transição com o material mais granular (cinza claro, mais quartzo feldspático) em que o percentual de areia é maior.

Tabela 6 - granulometria perfil 5.

PERFIL 5 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
C1	12	0,26	2,52	23,16	10,59	5,73	39,37	18,42	2,14
C2	27	0,52	6,40	14,30	9,03	0,50	48,80	21,25	2,30
C3	30	1,44	9,12	9,90	10,32	2,37	50,71	16,15	3,14

O perfil 5 como mostra a tabela 6, mostra heterogeneidade nos valores encontrados. O horizonte C1 é o que apresentou menor valor percentual de finos (silte+argila), sendo assim mais arenoso em relação às demais amostras do perfil, porque está próximo a lente de quartizito. O horizonte C2 por está próximo à zona de transição com o material cinza claro apresentou valor mais elevado de finos, assim como o horizonte C3 possui as características do material branco que tem textura granular.

Tabela 7 - granulometria perfil 6.

PERFIL 6 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
B	1,5	0,78	8,62	10,94	12,46	13,12	33,72	20,39	1,65
C1	6	0,18	2,78	12,69	11,70	5,23	44,62	22,91	1,95
C2	27	0,00	0,00	5,06	12,36	13,49	46,55	22,50	2,07
C3	30	0,10	5,97	12,62	14,27	14,15	40,23	12,65	3,18

A tabela 7 mostra que o perfil 6 possui valor percentual mais acentuado de areia (areia grossa, média e fina) nos horizontes B, C1 e C2 por estar na parte mais quartizítica do biotita gnaïsse identificado na descrição de campo. O

horizonte C3 possui as características do material branco que tem textura granular.

Tabela 8 - granulometria perfil 7

PERFIL 7 horizonte	Prof.(metros)	cascalho(%) 20-6 mm	terra fina(%) 6-2 mm	areia grossa(%) 2-0,6 mm	areia média(%) 0,6-0,2 mm	areia fina(%) 0,2-0,06 mm	Silte(%) 0,06-0,002 mm	Argila(%) <0,002 mm	Silte(%) / argila(%)
B	1	9,96	11,06	20,11	8,23	4,3	29,23	17,17	1,70
C1	33	0,83	8,66	20,51	8,75	4,37	36,87	20,00	1,84
C2	35	0,00	7,50	18,75	8,25	17,37	34,38	13,75	2,50
C3	38	0,70	3,05	8,80	12,75	25,45	37,00	12,30	3,01
C4	40	0,00	0,79	13,11	19,67	20,22	31,98	14,23	2,25

A tabela 8 mostra que no perfil 7 observou-se que o horizonte B não apresenta acumulação de argila, por ser um material mais quartizítico. Os horizontes C2, C3 e C4 tem menores proporções de argila que o horizonte C1, por estar na zona de transição para o material branco de textura granular.

A análise granulométrica revelou que as amostras em que o percentual de argila é maior são aquelas em que o protótipo é aquele proveniente do biotita gnaisse e da rocha básica. Também ressalta-se que os horizontes B apresentaram valores percentuais que estão próximos de 23%. As amostras que provêm do material de cor branco acinzentado ou aquelas que estão próximas a transição com o material vermelho, apresentaram valores percentuais da fração areia maior e mais siltosa do que argilosa, fato que foi refletido nos limites de atterberg das amostras que se mostraram não plásticas e de índice de plasticidade baixo. Destaca-se a importância da descrição de campo, pois consegue-se estabelecer relações com as propriedades dos solos.

A figura 6 mostra o diagrama ternário das amostras, em foram plotados os valores percentuais das frações areia, silte e argila o que comprova o que foi escrito no parágrafo anterior. Observe que a maior concentração dos pontos se deu no campo da textura franca, o que corresponde as amostras do material vermelho. As amostras franco arenosas e areia franca correspondem ao material cinza claro e aos horizontes mais superficiais. A amostra franco argilo siltosa é a correspondente ao material de rocha intrusiva.

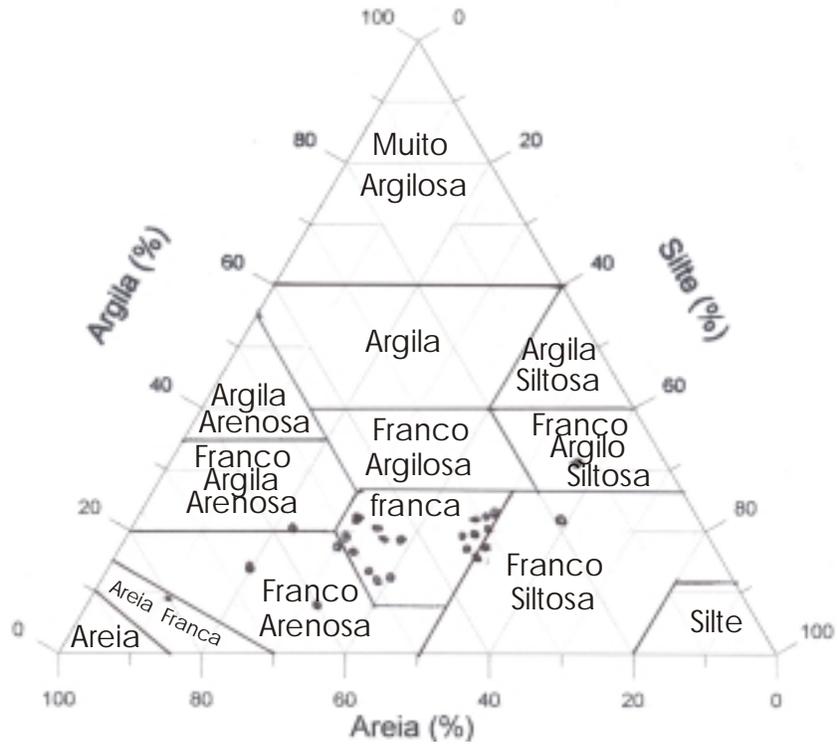


Figura 6: diagrama ternário das frações areia, silte e argila, classificando a textura do solo

A curva granulométrica da figura 7 é a que correspondente ao horizonte C3 do perfil 4, em que se observa que a textura do solo é franca.

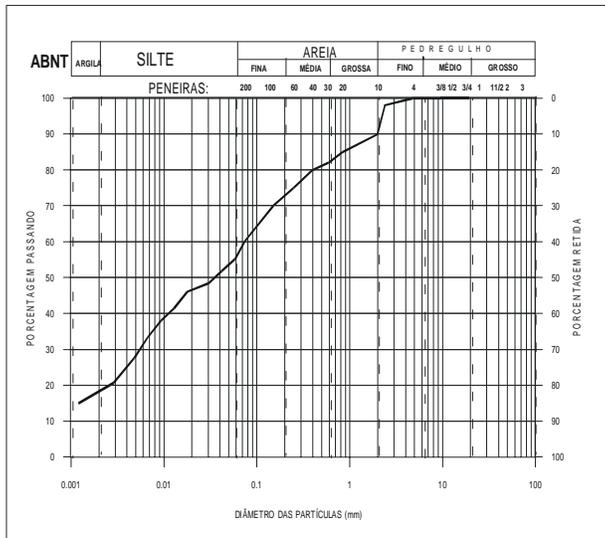


Figura 7: curva granulométrica da amostra com textura franca

Foi calculada a relação silte/argila com a finalidade de observar o grau de maturidade do material ao longo do perfil, indicando que quanto menor for o valor dessa relação mais intemperizado é o solo. (Polivanov, 1998).

Podemos observar na figura 8 que os horizontes superficiais são mais intemperizados, com a relação silte/argila variando entre 1,07 e 1,79. Entretanto ao longo do perfil não é possível observar um padrão linear, o que leva a concluir que não houve uma evolução gradual de forma acentuada, refletido por fatores tais como a litologia, composição mineralógica e estrutural do protótipo.

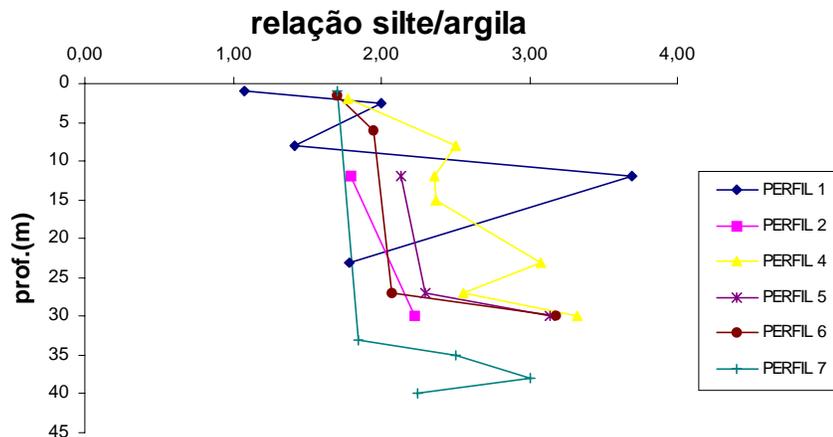


Figura 8: gráfico da relação silte/argila de todos os perfís

5.1.1.2 Limites de Attemberg

Os limites de Attemberg auxiliaram na análise feita para estudar o comportamento do solo com a mudança dos teores de umidade que são correspondentes a mudança de estado.

Os resultados dos limites de liquidez expressam o comportamento do solo com o aumento da umidade, analisando o limite em que a amostra passa do estado plástico para o estado líquido.

O limite de plasticidade expressa o comportamento do solo com a decréscimo da umidade, analisando o limite que a amostra de solo passa do estado plástico para quebradiço.

O índice de plasticidade diz respeito ao intervalo em que a amostra de solo encontra-se no estado plástico. As tabelas 9 a 15 e figuras 9 a 14 mostram os resultados encontrados:

Tabela 9: Perfil 1 limite de attemberg X profundidade

PERFIL 1	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz. A	1	42,8	20,6	22,2
Horiz. B	2,5	64,1	26,4	37,7
Horiz.C1	8	55,0	24,5	30,5
Horiz.C2	12	NP	NP	NP
Horiz.C3	23	63,5	30,8	32,7

Tabela 10: perfil 2 limite de attemberg X profundidade

PERFIL 2	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz.C1	12	42,8	21,2	21,6
Horiz.C2	30	48,8	25,7	23,1

NP = não-plástica

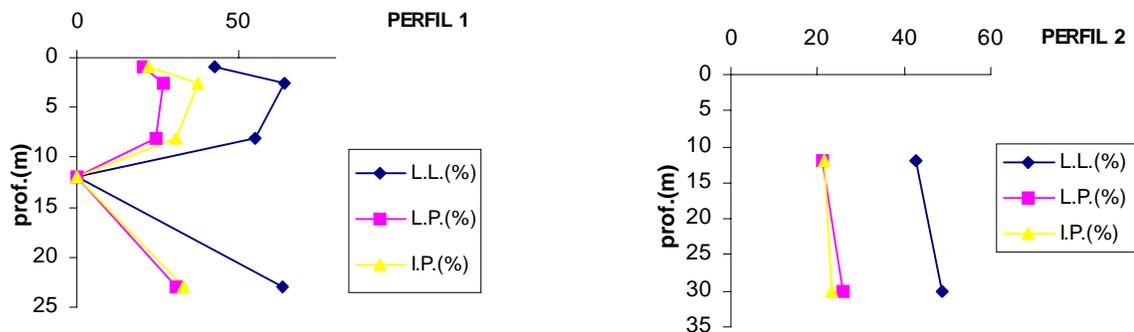


Figura 9: gráficos com os limites de Attemberg dos perfis 1 e 2.

A análise das tabelas 9 e 10 junto com os gráficos da figura 9 no permite observar que no perfil 1 o limite liquidez está na faixa 42,8% a 64,1%, o limite de plasticidade está na faixa de 20,6% a 30,8% e o índice de plasticidade varia 22,2% a 37,7%. Ressalta-se que a amostra do horizonte B (perfil 1) mostrou índice de plasticidade mais alto por ter maior valor percentual de Finos (silte+argila), o horizonte C2 mostrou-se não- plástico por se tratar do material de textura mais granular e composição quartzo- feldspática. O horizonte C3 do perfil 1 por se tratar de uma rocha básica de granulometria mais fina. Denota-se que no perfil 2 os valores percentuais dos limites variaram pouco, o limite liquidez variou de 42,8% a 48,8%, o limite de plasticidade está na faixa de 21,2% a 25,7% e o índice de plasticidade variou de 22,2% a 37,7%.

Tabela 11: Perfil 3 limite de attembera X profundidade

PERFIL 3	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz.C1	15	NP	NP	NP
Horiz.C2	30	25,6	12,7	12,9

NP= não- plástico

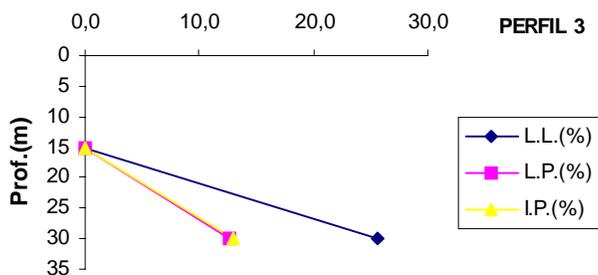


Figura 10: gráfico dos limites de Attemberg dos perfil 3

A análise da tabela 11 junto com os gráfico da figura 10 no permite observar que as amostras do perfil 3 por estar no material de textura mais de textura mais granular e composição quartzo- feldspática do material branco apresentou valores de plasticidade baixos e não- plástico para o horizonte C1

Tabela 12: Perfil 4. limites de Attemberg X profundidade

PERFIL 4	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz. B	2	63,8	25,6	38,2
Horiz.C1	8	50,0	26,3	23,7
Horiz.C2	12	43,6	21,3	22,3
Horiz.C3	15	39,8	18,5	21,3
Horiz.C4	23	55,2	28,1	27,1
Horiz.C5	27	49,5	25,3	24,2
Horiz.C6	30	44,8	23,1	21,7

Tabela 13: Perfil 5. limites de Attemberg X profundidade

PERFIL 5	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz.C1	12	40,8	20,3	20,5
Horiz.C2	27	41,8	26,6	15,2
Horiz.C3	30	NP	NP	NP

NP= não- plástico

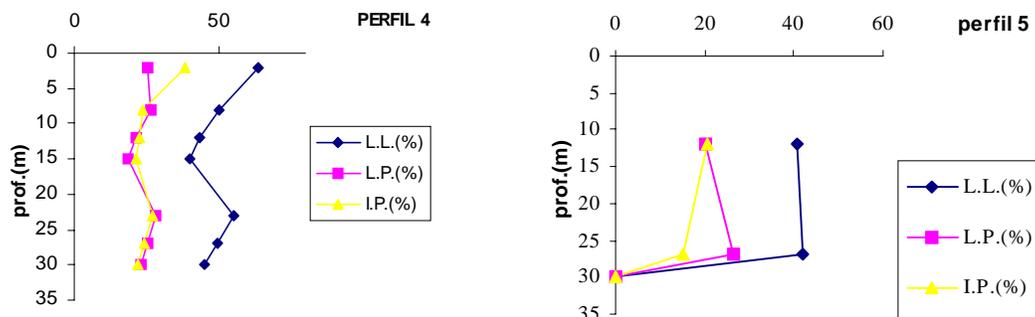


Figura 11: gráficos com os limites de Attemberg dos perfis 4 e 5.

A análise das tabelas 12 e 13 junto com os gráficos da figura 11 nos permite observar que o perfil 4 o limite liquidez está na faixa 39,8% a 63,8%, o limite de plasticidade está na faixa de 18,5% a 28,1% e o índice de plasticidade varia 21,3% a 38,2%. Denota-se que na amostra do horizonte B mostrou índice de plasticidade mais alto por ter valor percentual elevado das frações de finos (silte+argila), assim como nas amostras dos horizontes C4 e C5 na faixa de 23 a 27 metros por fatores estruturais apresentou valores mais elevados de índice de plasticidade. As amostras dos horizontes C1, C2, C3 e C6 mostraram valores percentuais heterogêneos.

No perfil 5 observa-se que o limite liquidez está na faixa 40,8% à 41,8%, o limite de plasticidade está na faixa de 20,3% à 26,6% e o índice de plasticidade varia 15,2% à 20,5%. Observa-se ainda que a amostra do horizonte C2 apresentou valor percentual baixo de índice de plasticidade por estar na zona de transição de um material mais argiloso para um material menos argiloso e textura granular, por esse motivo o horizonte C3 apresentou-se não-plástico.

Tabela 14: Perfil 6. limites de Attemberg X profundidade

PERFIL 6	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz. B	1,5	51,1	23,9	27,2
Horiz.C1	6	42,6	20,5	22,1
Horiz.C2	27	42,8	21,0	21,8
Horiz.C3	30	NP	NP	NP

NP= não- plástico

Tabela 15: Perfil 7. limites de Attemberg X profundidade

PERFIL 7	Prof.(metros)	L.L.(%)	L.P.(%)	I.P.(%)
Horiz. B	1	64,8	28,9	35,9
Horiz.C1	33	49,8	22,0	27,8
Horiz.C2	35	49,0	23,4	25,6
Horiz.C3	38	39,2	18,0	21,2
Horiz.C4	40	NP	NP	NP

NP= não- plástico

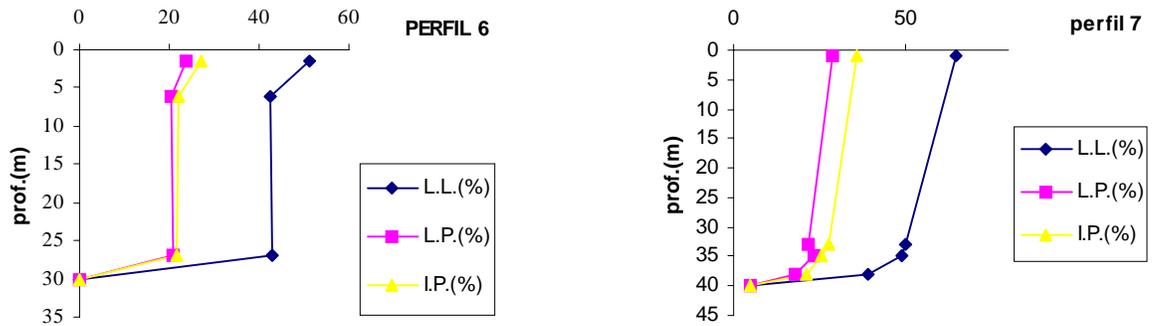


Figura 12: gráficos com os limites de Atterberg dos perfis 6 e 7.

A análise das tabelas 14 e 15 junto com os gráficos da figura 12 nos permite observar que os perfis 6 e 7 tem o comportamento das curvas dos gráficos semelhantes, este fato é explicado pois ambos os perfis se desenvolveram em materiais de características semelhantes. Consta-se que no perfil 7 os valores de índice de plasticidade são ligeiramente mais elevados do que no perfil 6, tal fato pode ser explicado pela proximidade do perfil 7 com as laterais do corte, sendo assim mais atingido pelos processos intempéricos.

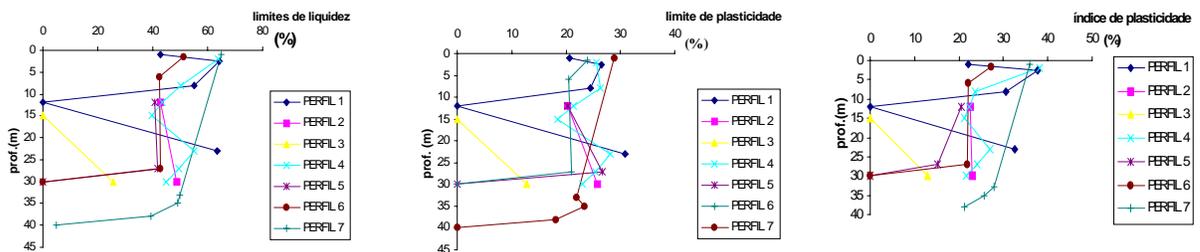


Figura 13: gráficos com os limites de Atterberg analisados separadamente para observar a faixa de variação dos valores.

Observa-se que ao longo do perfil os valores do limite de liquidez variam de 25,6% à 64,8%, do limite de plasticidade entre 12,7% à 30,8% e o índice de plasticidade de 12,9% à 38,2%. As curvas dos gráficos se mostraram bastante heterogêneas evidenciando a influência do protótipo. Nota-se que há uma leve tendência a diminuição desses limites em maiores profundidades mostrando que o processo intempérico é mais atuante nos horizontes superficiais. Ressalta-se que as amostras não- plásticas referem-se ao material quartzo- feldspático identificado na descrição de campo.

Na figura 14 foi construído um gráfico de atividade de Skempton e o de plasticidade de Casagrande adaptado de Polivanov (1998).

Verifica-se que no gráfico de plasticidade as concentrações maiores dos pontos encontra-se na classificação de argilas inorgânicas medianamente plásticas, alguns outros pontos no intervalo de argila e silte de alta plasticidade correspondentes as amostras dos horizontes B dos perfís 1, 4 e 7 e o horizonte C3 do perfil 1 pelo alto teor de argila e outro ponto que caiu no campo de argilas inorgânica de baixa plasticidade que corresponde ao horizonte C2 do perfil 3 é um material pouco argiloso e que tem textura granular

O gráfico de atividade mostra que a maior concentração de pontos encontra-se na região das argilas “normal”, o que é indicativo de solos residuais cujo principal argilomineral é a caulinita, isto sugere que, a capacidade de troca catiônica do material é baixa. Alguns outros pontos situam-se na região de argilas ativas (presença de illita) e inativas(amostras mais siltosas e mais quartzíticas).

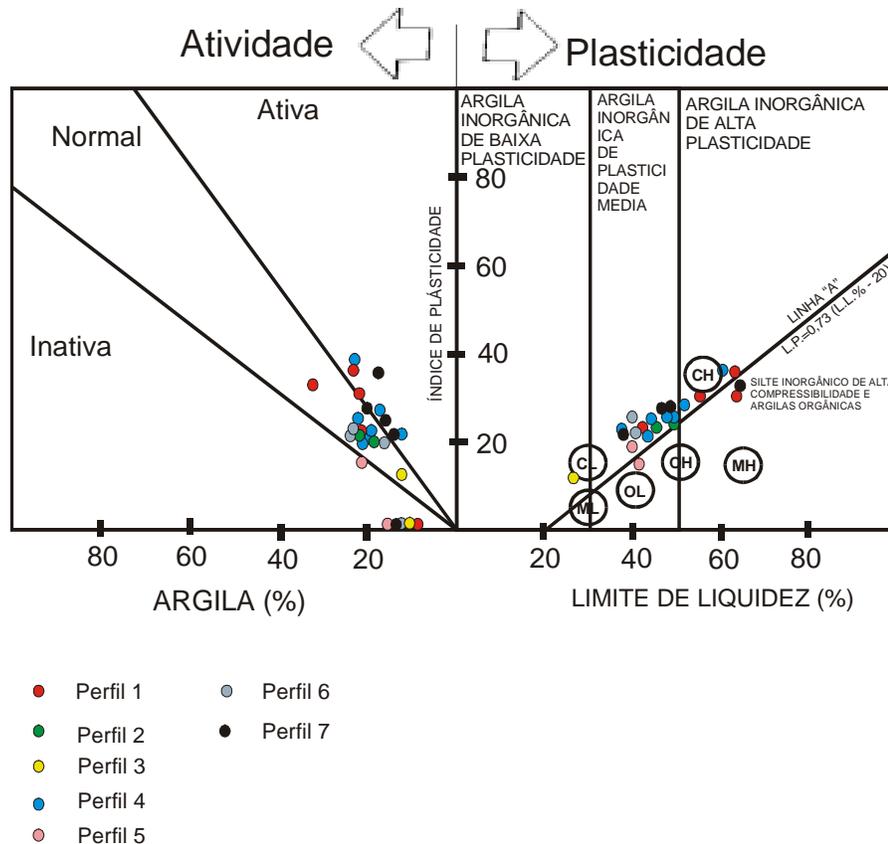


Figura 14: gráfico de atividade de Skempton e o de plasticidade de Casagrande adaptado por Polivanov(1998)

5.1.1.3 Densidades e seus parâmetros

Os resultados da densidade real dos grãos(δ (g/cm³), da densidade aparente do solo(γ_{ap} .(g/cm³) e dos parâmetros obtidos a partir dos valores das densidades real e aparente tais com a Porosidade (n(%)) e o Índice de vazios (e (%)), encontram-se nas tabelas 16 a 22 e figuras 15 a 25 .

Tabela 16: Perfil 1. Densidades e parâmetros

PERFIL 1	Prof.(metros)	δ (g/cm ³)	γ_{ap} (g/cm ³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz. A	1	2,644	1,682	57,19	36,38	5,3
Horiz. B	2,5	2,676	1,726	55,04	35,50	18,1
Horiz.C1	8	2,685	1,833	46,48	31,73	9,1
Horiz.C2	12	2,595	1,897	36,79	26,89	9,5
Horiz.C3	23	2,980	2,394	27,84	24,47	23,9

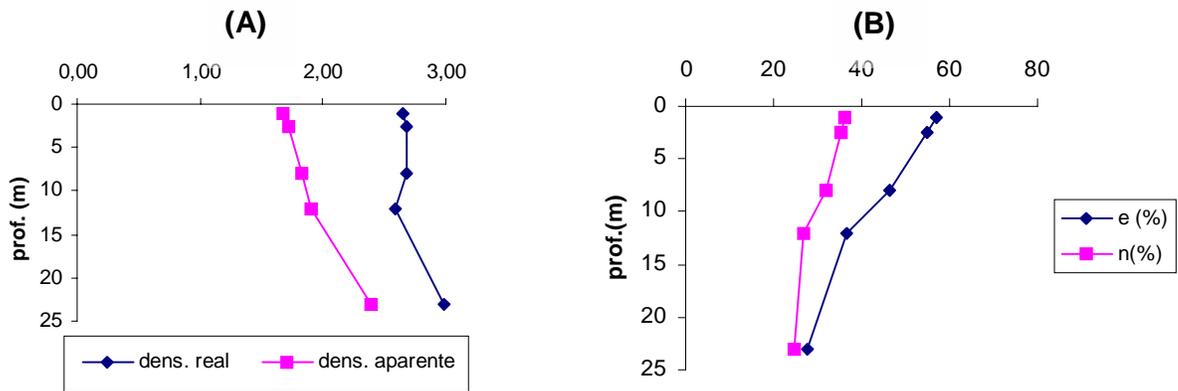


Figura 15: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios (B) versus profundidade do perfil 1.

A análise do perfil 1 apresentada na tabela 16 e na figura 15, indicam que a densidade real dos grãos e a densidade aparente tendem a aumentar com a proximidade do protótipo. Na amostra do horizonte C3 que apresenta valores de densidades altas por se tratar de um material de rocha básica identificada na descrição de campo. Os valores percentuais do índice de vazios e da porosidade indicam que a porosidade diminuiu com a profundidade. Constatase que na amostra do horizonte C3 a porosidade diminuiu mais acentuadamente em relação aos outros horizontes por se tratar de um ponto

coletado em um intervalo de material básico, proporcionando durante o processo intempérico porosidade menor.

Tabela 17: Perfil 2. Densidades e parâmetros

PERFIL 2	Prof.(metros)	δ (g/cm ³)	γ_{ap} (g/cm ³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz.C1	12	2,703	1,885	43,39	30,26	11,8
Horiz.C2	30	2,648	1,693	56,41	36,06	12,7

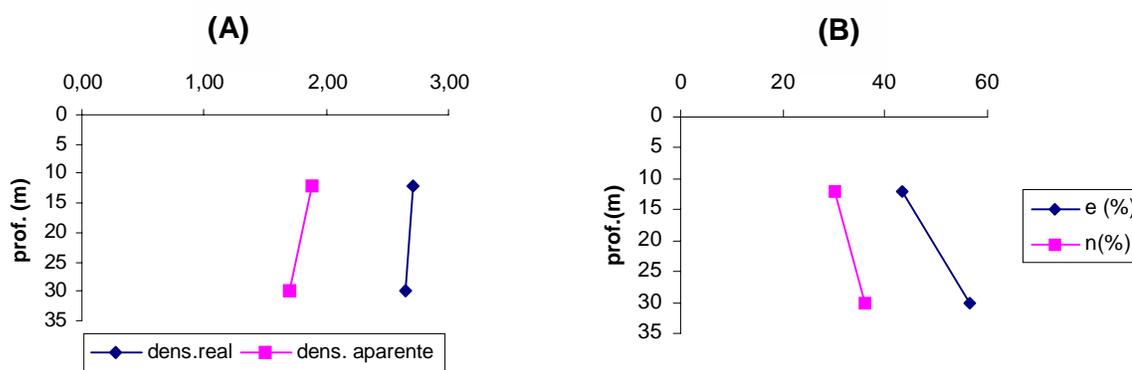


Figura 16: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 2.

A análise do perfil 2 apresentada na tabela 17 e na figura 16, indicam que os valores de densidades real e aparente refletem a natureza do protótipo. A amostra do horizonte C1 apresenta valores de densidades mais altas que a amostra do horizonte C2 por se tratar de um material mais biotítico, enquanto que o material do horizonte C2 corresponde à granulometria mais granular representando uma faixa quartzo-feldspática identificada na análise de campo. Observa-se portanto que o material representa as faixas com concentrações de material biotítico apresentam os índices de vazios e porosidade menores, pois geram durante o intemperismo materiais mais finos, dessa forma fica evidente a influência das características petrográficas, texturais e estruturais do protótipo nas propriedades físicas do solo residual.

Tabela 18: Perfil 3. Densidades e parâmetros

PERFIL 3	Prof.(metros)	δ (g/cm ³)	γ_{ap} (g/cm ³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz.C1	15	2,676	2,038	31,30	23,84	3,6
Horiz.C2	30	2,665	1,732	53,87	35,00	3,2

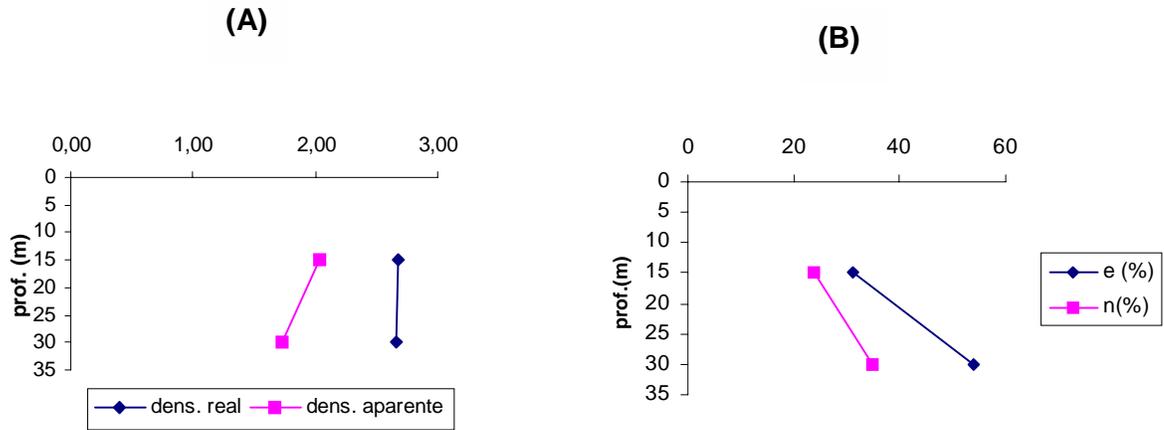


Figura 17: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 3.

A análise do perfil 3 apresentada na tabela 18 e na figura 17, indicam que há homogeneidade pelos valores de densidade real refletindo a natureza do protótipo, porém ressalta-se que a amostra do horizonte C1 apresenta valor de densidade alta que pode ser explicado pelo valor de índice de vazios mais baixo.

Tabela 19: Perfil 4. Densidades e parâmetros

PERFIL 4	Prof.(metros)	δ (g/cm³)	γ_{ap} (g/cm³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz. B	2	2,629	1,645	59,81	37,43	12,3
Horiz.C1	8	2,724	1,757	55,04	25,50	16,2
Horiz.C2	12	2,672	1,769	51,04	33,79	12,4
Horiz.C3	15	2,803	1,901	47,45	32,18	10,1
Horiz.C4	23	2,784	1,786	55,88	35,85	22,3
Horiz.C5	27	2,802	1,866	50,16	33,40	22,1
Horiz.C6	30	2,723	1,920	41,82	29,49	12,4

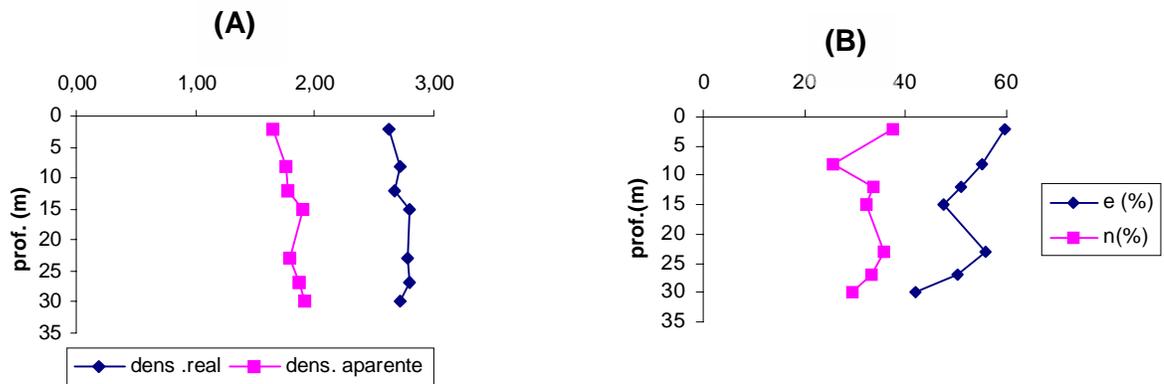


Figura 18: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 4.

A análise do perfil 4 apresentada na tabela 19 e na figura 18, indica que há um aumento de forma descontínua dos valores de densidades real e aparente refletindo a natureza do protótipo, porém ressalta-se que as amostras dos horizontes C3, C4 e C5 na faixa de 15 à 27 metros os valores das densidades aumentaram, fato decorrente do material ser mais férrico (ver análise química) por motivos estruturais. Os valores da porosidade e do índice de vazios mostram uma tendência a diminuição, porém de forma descontínua dos valores com a profundidade.

Tabela 20: Perfil 5. Densidades e parâmetros

PERFIL 5	Prof.(metros)	δ (g/cm ³)	γ_{ap} (g/cm ³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz.C1	12	2,658	1,844	44,14	30,62	19,6
Horiz.C2	27	2,596	1,985	30,78	23,54	15,0
Horiz.C3	30	2,665	1,746	52,63	34,48	15,6

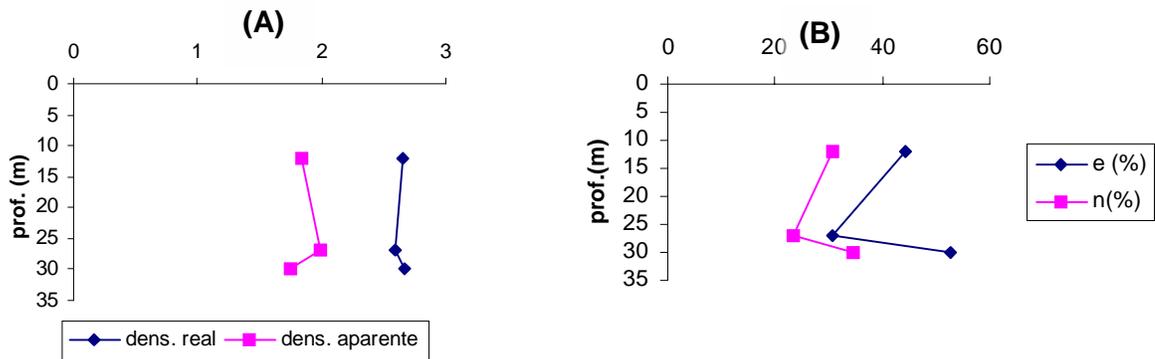


Figura 19: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 5.

A análise do perfil 5 apresentada na tabela 20 e na figura 19,. corrobora os dados analisados até o momento onde se observa que há variações dos valores da densidades reais e aparente na evolução intempérica do perfil estudado. A porosidade e o índice de vazios evoluem de uma forma descontínua no processo intempérico.

Tabela 21: Perfil 6. Densidades e parâmetros

PERFIL 6	Prof.(metros)	δ (g/cm ³)	γ_{ap} (g/cm ³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz. B	1,5	2,618	1,683	55,52	35,71	18,8
Horiz.C1	6	2,659	1,845	44,12	30,61	9,9
Horiz.C2	27	2,665	1,976	34,87	25,85	11,5
Horiz.C3	30	2,629	1,962	33,99	25,37	9,0

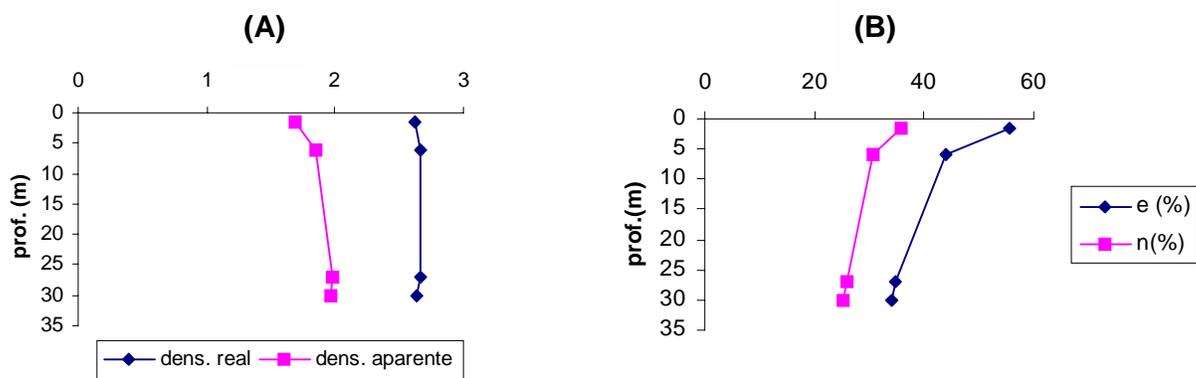


Figura 20: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 6.

A análise do perfil 6 apresentada na tabela 21 e na figura 20, indicam que há homogeneidade nos valores de densidades real e aparente com uma leve tendência ao aumento dos valores com a profundidade. Os valores percentuais do índice de vazios e da porosidade indicam que há uma diminuição dos valores com a profundidade, indicando que as amostras dos horizontes mais superficiais estão mais intemperizadas. Esta seqüência do perfil analisado indica uma evolução gradual intempérica.

Tabela 22: Perfil 7. Densidades e parâmetros

PERFIL 7	Prof.(metros)	δ (g/cm³)	γ_{ap} (g/cm³)	e (%)	n(%)	h(%)
Horiz. B	1	2,677	1,679	59,44	37,28	12,5
Horiz.C1	33	2,658	1,807	47,09	32,02	11,7
Horiz.C2	35	2,671	1,869	42,91	30,03	11,1
Horiz.C3	38	2,699	1,892	42,65	29,9	8,8
Horiz.C4	40	2,732	1,920	42,29	29,72	7,0

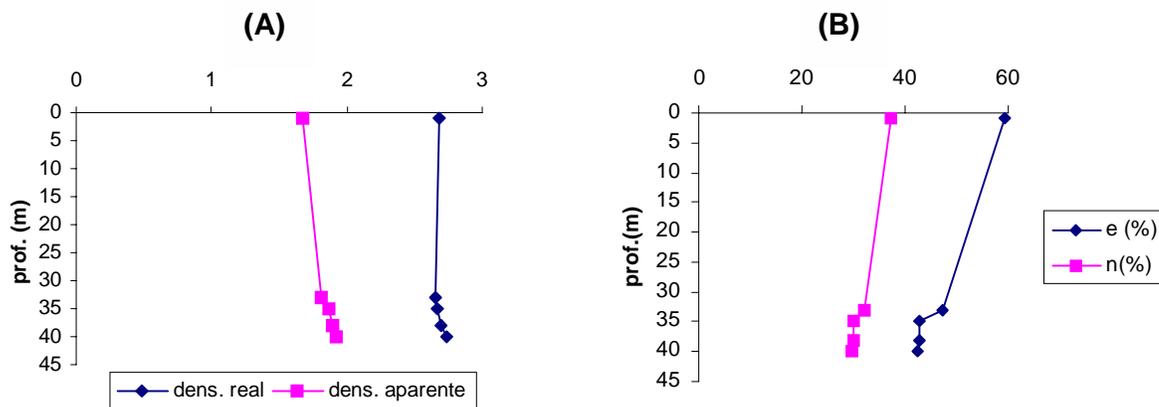


Figura 21: Gráfico de densidades reais e aparentes (A) e porosidade e índice de vazios(B) X profundidade do perfil 7.

A análise do perfil 7 apresentada na tabela 22 e na figura 21, assim como no perfil 6, há homogeneidade indicada pelos valores de densidades real e aparente com uma leve tendencia ao aumento dos valores com a profundidade. Os valores percentuais do índice de vazios e da porosidade indicam que há uma diminuição dos valores com a profundidade, indicando que as amostras dos horizontes mais superficiais estão mais intemperizados.

Os valores encontrados para a densidade real dos grãos foram analisados em conjunto no gráfico da figura 22, a análise desses resultados nos permite concluir que a densidade real dos grãos apresenta-se descontínua na evolução intempérica quando analisamos a seqüência do topo até a base, isto é, aproximando-a do protótipo. No entanto, é possível identificar um valor médio que tende a estar no intervalo de 2,60 a 2,80 g/cm³ para solos residuais provenientes do biotita-gnaisse. A exceção é o perfil 1 onde a amostra à 23 metros de profundidade apresentou um valor alto por seu protótipo se tratar de uma rocha básica e no perfil 4 na faixa de 15 à 27 metros em que o protótipo é rico em ferro como mostra a análise química feita em tais amostras.

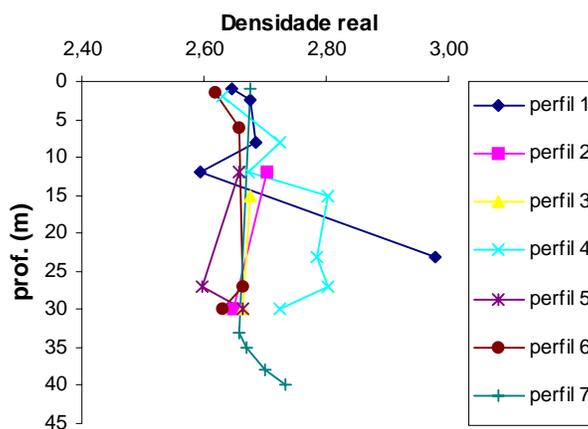


Figura 22: as densidades reais de todos os perfis juntos.

Os valores de peso específico aparente do solo mostram uma leve tendência do aumento desses valores com a profundidade. Os valores variaram entre 1,64 e 2,04 como mostra a figura 23 abaixo. exceto no perfil 1 onde a amostra do horizonte C3 à 23 metros de profundidade não se apresentou nesse

intervalo, pois tem como influência o seu protótipo se tratar de uma rocha básica

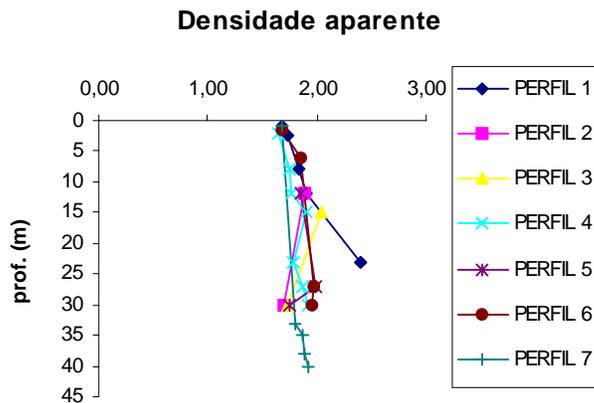


Figura 23: as densidades aparentes de todos os perfis juntos.

Os valores dos índices de vazios apresentados nas tabelas 16 à 22 e gráfico da figura 24 variam de 28% à 59%. Observa-se a tendência ao aumento dos valores com a superfície pois o intemperismo cria novos vazios durante o processo de atuação.

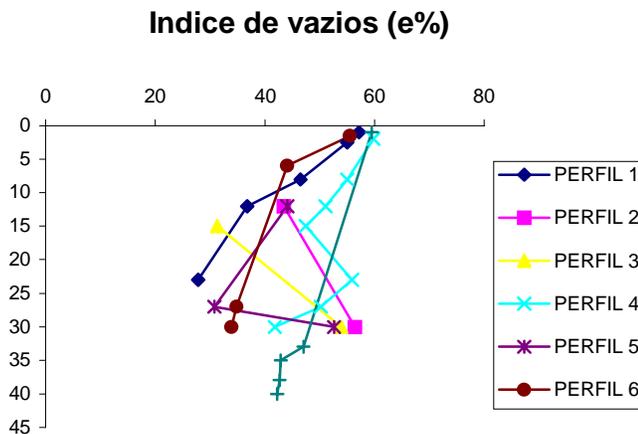


Figura 24: os índices de vazios de todos os perfis juntos.

Os valores da porosidade apresentados nas tabelas 16 à 22 e gráficos da figura 25 variam de 23% à 37%. Observa-se que a porosidade tem um comportamento semelhante ao do índice de vazios, onde também há tendência na diminuição dos valores com a profundidade, refletindo nos processos intempéricos que variam longitudinalmente e perpendicularmente.

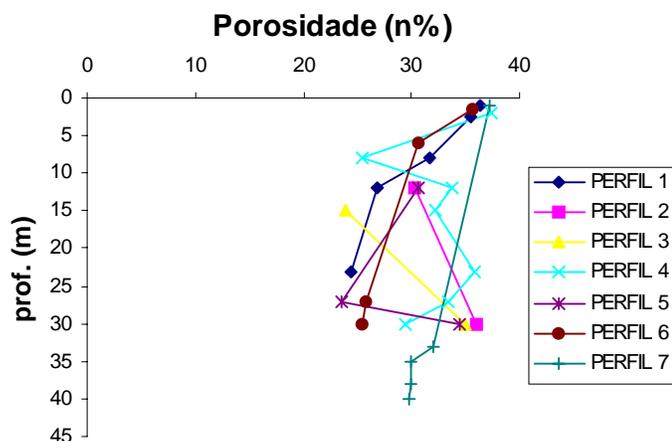


Figura 25: As porosidades de todos os perfis juntos.

5.1.2 Análise Mineralógica - Difração de Raios - X.

As análises mineralógicas por difração de Raios - X foram executadas nas frações argilas e silte através de lâminas orientadas. As tabelas 23 à 29 apresentam a mineralogia encontrada nas frações silte e argila.

Tabela 23: Mineralogia do perfil 1

PERFIL 1	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz. A	1	++	-	-	-	++	++	-
Horiz. B	2.5	++	-	+	-	++	-	+
Horiz.C1	8	++	-	+	-	++	-	-
Horiz.C2	12	++	+	-	-	++	-	+
Horiz.C3	23	++	+	+	+	++	-	-

K= caulinita; I= illita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 24: mineralogia do perfil 2

PERFIL 2	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz.C1	12	++	+	+	+	++	-	-
Horiz.C2	30	++	+	+	+	++	-	-

K= caulinita; I= illita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 25: mineralogia do perfil 3

PERFIL 3	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz.C1	15	++	+	+	+	++	-	-
Horiz.C2	30	na	na	na	na	na	na	na

K= caulinita; I= ilita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 26: mineralogia do perfil 4

PERFIL 4	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz. B	2	++	+	-	-	++	-	+
Horiz.C1	8	++	+	-	-	-	-	-
Horiz.C2	12	++	+	-	-	++	-	+
Horiz.C3	15	++	+	-	-	++	-	-
Horiz.C4	23	++	-	-	-	++	-	-
Horiz.C5	27	++	-	-	-	++	-	-
Horiz.C6	30	++	-	-	-	++	-	-

K= caulinita; I= ilita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 27: mineralogia do perfil 5

PERFIL 5	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz.C1	12	na	na	na	na	na	na	na
Horiz.C2	27	++	+	+	+	++	-	-
Horiz.C3	30	++	+	+	+	++	-	-

K= caulinita; I= ilita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 28: mineralogia do perfil 6

PERFIL 6	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz. B	1,5	++	-	+	-	++	-	-
Horiz.C1	6	++	-	+	-	-	-	-
Horiz.C2	27	na	na	na	na	na	na	na
Horiz.C3	30	++	+	+	+	++	-	-

K= caulinita; I= ilita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

Tabela 29: mineralogia do perfil 7

PERFIL 7	Prof.(metros)	Argila		Silte				
		K	I	K	I	Q	F	P
Horiz. B	1	++	+	+	+	++	-	+
Horiz.C1	33	++	tr	-	-	++	-	-
Horiz.C2	35	++	+	+	+	++	-	-
Horiz.C3	38	++	-	+	-	++	-	-
Horiz.C4	40	++	+	+	+	++	-	-

K= caulinita; I= ilita; Q=quartzo; F= K-feldspato; P= plagioclásio;

(++)= predominante; (+)= presente; tr = traços na amostra;

(-)= ausência na amostra; na= amostra não foi analisada

A análise dessas tabelas nos permite observar que a fração argila é caracterizada predominantemente por caulinita e ilita subordinada. A fração silte é caracterizada pelos minerais primários quartzo e feldspato (k-feldspato e plagioclásio) e observa-se também que os argilominerais caulinita e ilita encontram-se nessa fração.

Observa-se nas tabelas 23 a 29 que os principais argilominerais formados são: caulinita e ilita . A gênese está associada ao material de origem aluminossilicoso, em que os cátions e parte da sílica são removidos formando assim a caulinita, enquanto a ilita forma-se pela lixiviação parcial dos álcalis Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , permanecendo parte do K^+ e por hidratação das caulinitas. Dessa forma conclui-se que o processo de formação desse perfil é a monossilização.

5.1.3 Análise química

A análise química é feita com a finalidade de analisar o comportamento dos componentes químicos e as principais reações ocorridas no solo durante o processo de formação.

5.1.3.1 Potencial Hidrogênio – pH

Analisa o comportamento do solo com relação a acidez ou alcalinidade do solo. E o ΔpH que diz respeito ao equilíbrio de cargas. Os resultados serão apresentados nas tabelas 30 a 36 e figuras 26 e 27.

Tabela 30 - pH do perfil 1.

PERFIL 1	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz. A	1	3,9	3,7	-0,2
Horiz. B	2,5	3,9	3,9	0
Horiz.C1	8	4,2	4,2	0
Horiz.C2	12	4,4	4,2	-0,2
Horiz.C3	23	4,6	3,9	-0,7

Tabela 31 - pH do perfil 2

PERFIL 2	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz.C1	12	4,3	4,1	-0,2
Horiz.C2	30	4,5	4,0	-0,5

A análise dos perfís 1 e 2 nas tabelas 30 e 31 indicam tendência ao aumento do pH com a profundidade tanto em solução aquosa quanto em KCl 1 N, quanto ao equilíbrio de cargas tais amostras dos perfís 1 e 2 mostraram-se eletronegativas, exceto as amostras dos horizontes B e C1 do perfil 1 que demonstraram equilíbrio de cargas

Tabela 32- pH do perfil 3.

PERFIL 3	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz.C1	15	4,4	4,0	-0,4
Horiz.C2	30	4,4	3,9	-0,5

Tabela 33 - pH do perfil 4

PERFIL 4	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz. B	2	4,3	4,2	-0,1
Horiz.C1	8	4,6	4,2	-0,4
Horiz.C2	12	4,5	4,2	-0,3
Horiz.C3	15	4,5	4,3	-0,2
Horiz.C4	23	4,5	4,2	-0,3
Horiz.C5	27	4,1	3,9	-0,2
Horiz.C6	30	4,8	4,3	-0,5

A análise do perfil 3 na tabela 32 indica que os valores encontrados para o pH não variaram em solução aquosa, sendo que o determina a eletronegatividade do material é o pH em KCl que tende a diminuir com a profundidade.

A análise do perfil 4 na tabela 33 indicam tendência ao aumento do pH com a profundidade tanto em solução aquosa quanto em KCl 1 N, exceto a amostra do horizonte C5. Quanto ao equilíbrio de cargas tais amostras do perfil 4 mostra-se eletronegativa.

Tabela 34 - pH do perfil 5

PERFIL 5	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz.C1	12	4,4	4,2	-0,2
Horiz.C2	27	4,3	4,2	-0,1
Horiz.C3	30	4,3	3,9	-0,4

Tabela 35- pH do perfil 6

PERFIL 6	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz. B	1,5	4,4	3,9	-0,5
Horiz.C1	6	4,1	4,1	0
Horiz.C2	27	4,3	4,0	-0,3
Horiz.C3	30	4,6	4,0	-0,6

A análise do perfil 5 na tabela 34 indica que os valores encontrados para o pH indicam tendência a diminuir com a profundidade tanto em solução aquosa quanto em KCl 1 N. Quanto ao equilíbrio de cargas tais amostras do perfil 5 mostram-se eletronegativa.

A análise do perfil 6 na tabela 35 indicam tendência ao aumento do pH com a profundidade tanto em solução aquosa quanto em KCl 1 N. Quanto ao equilíbrio de cargas tais amostras do perfil 6 mostram-se eletronegativa, exceto a amostra do horizonte C1 que demonstra equilíbrio de carga.

Tabela 36- pH do perfil 7

PERFIL 7	Prof.(metros)	H ₂ O	KCl	ΔpH
Horiz. B	1	4,1	4,0	-0,1
Horiz.C1	33	5,3	3,9	-1,4
Horiz.C2	35	4,6	3,9	-0,7
Horiz.C3	38	4,3	4,1	-0,2
Horiz.C4	40	4,8	4,6	-0,2

A análise do perfil 7 na tabela 36 indicam tendência ao aumento do pH com a profundidade tanto em solução aquosa quanto em KCl 1 N, . exceto a amostra do horizonte C1 que demonstra valor alto de pH em solução aquosa. Quanto ao equilíbrio de cargas tais amostras do perfil 7 mostram-se eletronegativas.

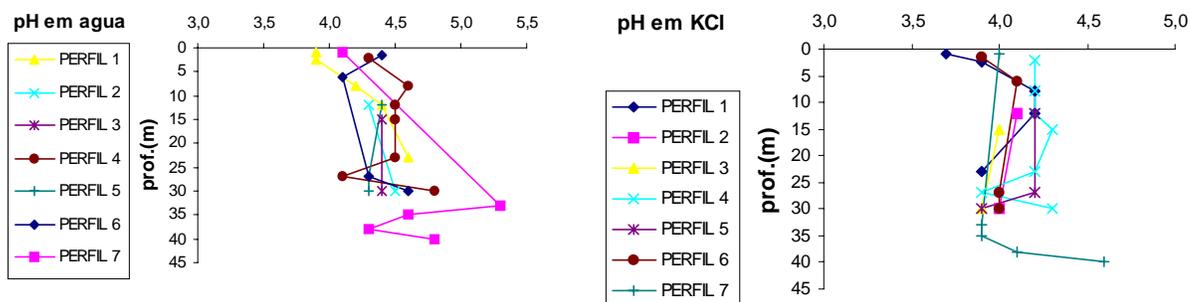


Figura 26: gráficos do pH em H₂O e em KCl de todos os perfís

Observa-se na figura 26 e nas tabelas 30 a 36, que os valores de pH no horizontes A e B, encontra-se na faixa entre 3,7 e 4,1. Quanto ao horizonte C os valores de pH no variam na faixa entre 3,9 e 5,3 indicando menor acidez do material.

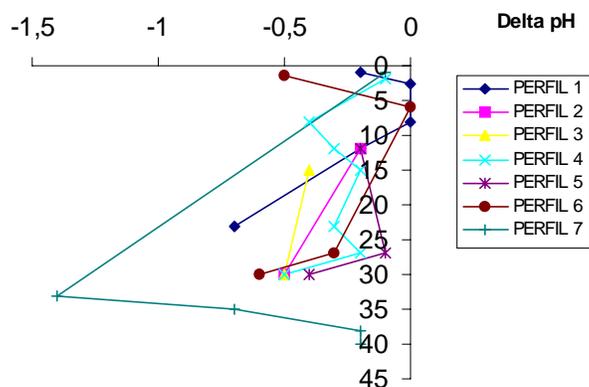


Figura 27: gráfico do Δ pH de todos os perfis

Os valores de Δ pH observado na figura 27 variam numa faixa de 0 à 1,4 a análise desses resultados nos permite observar que o intemperismo não é linear com a profundidade. Essa variação está relacionada com a gênese dos materiais do protótipo, envolvendo variações texturais, petrográficas e estruturais que representam as respostas às alterações impostas pelo intemperismo, demonstrando que os solos são eletronegativos na maioria dos pontos analisados e em alguns poucos pontos não há desbalanceamento de cargas. Constata-se que a eletronegatividade não é muito acentuada, indicando que os materiais foram submetidos a processos enérgicos de intemperismo.

5.1.3.2 Fluorescência de Raios-X

A análise química total é feita com base na fluorescência de Raios-X e os resultados são apresentados na tabela 27 e gráfico da figura 28:

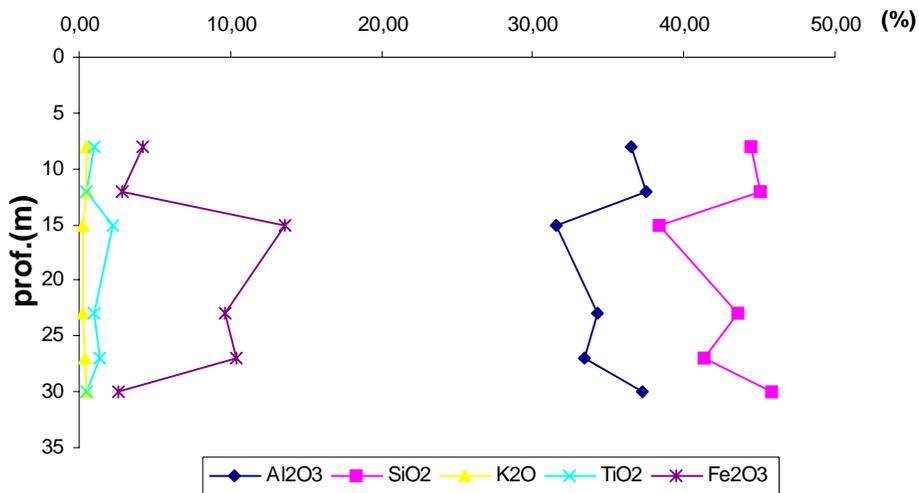


Figura 28: gráfico da composição química do perfil 4

Tabela 27: Análise química por fluorescência de Raios-X

PERFIL 4	Prof.(metros)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O(%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ZrO ₂ (%)
Horiz. C1	8	36,45	44,40	0,52	0,99	4,26	0,07
Horiz. C2	12	37,46	45,00	0,46	0,47	2,79	0,05
Horiz. C3	15	31,59	38,35	0,22	2,25	13,59	0,08
Horiz. C4	23	34,28	43,53	0,20	1,02	9,71	0,10
Horiz. C5	27	33,42	41,31	0,36	1,40	10,37	0,09
Horiz. C6	30	37,28	45,85	0,45	0,49	2,63	0,00

Analisando o comportamento do gráfico na figura 28, observa-se que as curvas dos compostos SiO₂ e Al₂O₃ são proporcionais e simétricas, indicando que na faixa do pH em que se encontra o perfil o comportamento geoquímico é semelhante, evidenciando a influência estrutural do protótipo, assim como também ocorre com os compostos Fe₂O₃ e TiO₂ sendo que na forma inversa.

Através da tabela 27 e da figura 28, a análise química total demonstra que:

- SiO₂ e Al₂O₃ evoluem de forma descontínua ao longo do perfil intempérico, devido a natureza química e mineralógica do perfil;
- Fe₂O₃ também ocorre de forma descontínua, há concentração maior nos níveis de 15 à 27 m. devido a natureza mineralógica e principalmente estrutural;
- K₂O não varia significativamente com a profundidade, mostrou que ocorreu grande lixiviação deste elemento ao longo do perfil;
- TiO₂ e ZrO₂ os valores se mostram praticamente constante, concentrando onde também concentrou Fe₂O₃, como mostra o gráfico da figura 28.

5.1.3.3 *Complexo Sortivo*

Análise feita objetivando relacionar os processos físico-químicos com as propriedades tecnológicas do solo. Na tabela 28 apresentam-se os valores dos cátions trocáveis.

Tabela 28:

Complexo sortivo (CTC)

PERFIL 4 horizonte	Prof.(metros)	cmol _c /kg									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H+	Valor T (soma)	Valor V (%) (sat. Bases)	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ (%)
C1	8	0	0,8	0,03	0,05	0,9	3,1	1,5	5,5	16	78
C2	12	0	0,4	0,02	0,12	0,5	3,1	1,5	5,1	10	86
C3	15	0	0,4	0,01	0,04	0,5	3,3	1,8	5,6	9	87
C4	23	0	0,9	0,04	0,06	1,0	3,5	1,3	5,8	17	78
C5	27	0	0,4	0,05	0,05	0,5	4,3	2,1	6,9	7	90
C6	30	0	0,4	0,03	0,08	0,5	2,3	1,3	4,1	12	82

- Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺ e Na⁺ trocáveis apresentam valores muito baixos que é indicador de intensa lixiviação destes elementos;

Através da tabela 28, pode-se concluir pela análise dos índices químicos que:

- Valor S que indica a soma de bases trocáveis mostram que os valores variam entre 0,5 e 1,0 cmol_c / kg, caracterizando os solos como sendo de baixa saturação de bases;
- Valor T que é a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresenta-se de forma descontínua e varia entre 4,1 e 6,9 cmol_c / kg, caracterizando o material como Tb (argila de atividade básica), isto é, analisando os valores encontrados com os valores encontrados por Polivanov (1998), o perfil tem característica de baixa CTC designados aos materiais com pouca capacidade de troca catiônica.
- Valor V que indica a saturação de bases, variam de 7 a 17% e designam o material como sendo destrófico;
- $(100Al^{3+}/S+Al^{3+})$ é a saturação de alumínio trocáveis, ocorrem de forma descontínua, indica que os materiais são álicos.

5.1.3.4 Ataque Sulfúrico

A tabela 29 apresenta os resultados da análise de ataque químico seletivo e das relações dos compostos encontrados:

Tabela 29: Análise por ataque sulfúrico

PERFIL 4 horizonte	Prof.(metros)	Ataque por H ₂ SO ₄ (1:1) - NaOH (0,8%)				SiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃
		g/kg				Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	(ki)	(Kr)	Fe ₂ O ₃
C	8	198,0	195,0	65,0	9,9	1,73	1,42	4,71
C	12	222,0	192,0	85,0	9,9	1,97	1,53	3,55
C	15	194,0	195,0	98,0	9,5	1,69	1,28	3,12
C	23	200,0	203,0	114,0	9,8	1,67	1,23	2,81
C	27	202,0	225,0	118,0	11,0	1,53	1,14	2,99
C	30	200,0	193,0	45,0	5,2	1,76	1,53	6,73

- Os valores de Ki observado na tabela 29 e figura 29 demonstra que a área foi submetida a severos processos intempéricos e os valores de Kr se demonstram que a região foi submetida a processo de fenilitização como mostra a figura 29;
- Os valores de Al₂O₃/Fe₂O₃ demonstram que há concentração de Fe₂O₃.em diversos horizontes demonstrando heterogeneidade da evolução intempérica.

Ataque Sulfurico

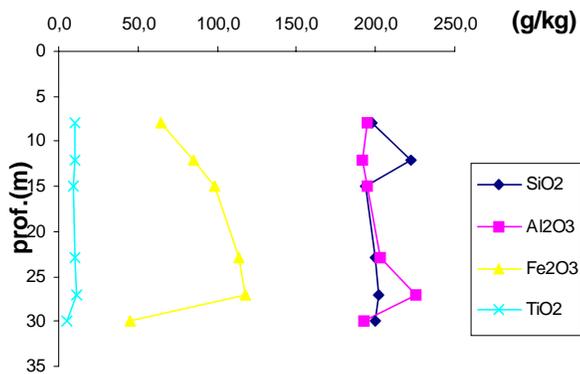


Figura 29: gráfico da análise química seletiva do perfil 4

Valores de Ki e Kr

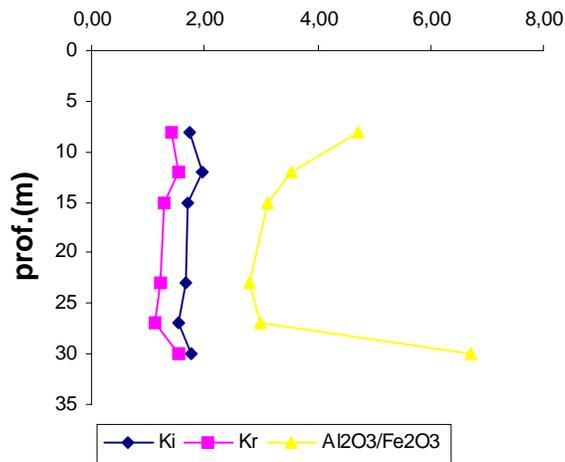


Figura 30: gráfico dos índices Ki e Kr

Observa-se que o gráfico da figura 30, o comportamento das relações Ki e Kr sendo as curvas proporcionais e simétricas, enquanto na relação Al_2O_3/Fe_2O_3 há um pico no nível de 30 metros, em virtude da menor concentração de ferro neste ponto.

5.1.4 Ensaios geotécnicos

Utilizou-se para caracterizar geotecnicamente os solos o ensaio de compactação, já que a área de estudo é explorada como material de empréstimo para aterros e outras obras de engenharia.

5.1.4.1 Ensaio de compactação

O ensaio consiste em analisar a curva obtida do gráfico “umidade X densidade aparente seca”, observando o vértice da curva que é ponto de umidade ótima e densidade máxima. As amostras nas quais foram realizados os ensaios de compactação, foram retiradas ao longo das bancadas e correspondem aos seguintes pontos:

- Perfil 1, Horizonte B, profundidade de 3 metros.

Através da curva de compactação da figura 31 pode se determinar a umidade ótima de 29,6% e a densidade aparente seca máxima 1,47 g/cm³.

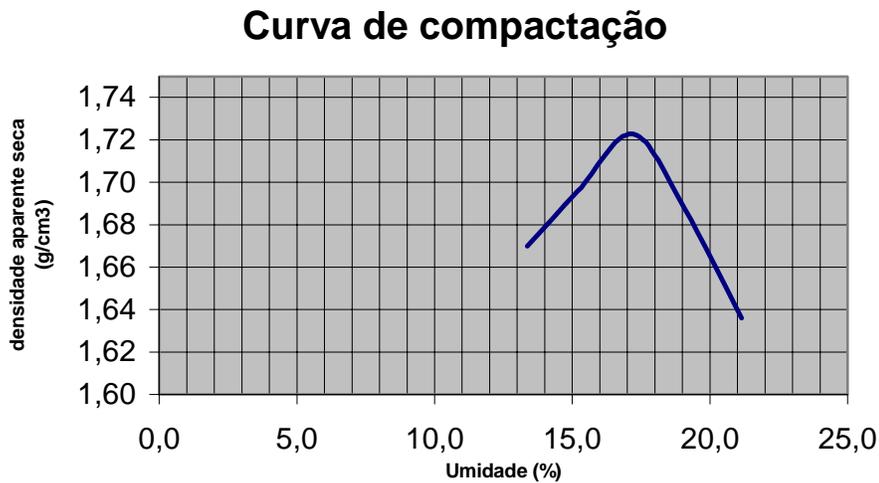


Figura 31 : gráfico da curva de compactação. Perfil 1 - horizonte B.

- Perfil 2, Horizonte C2, profundidade de 25 metros.

Através da curva de compactação da figura 32, pode se determinar a umidade ótima de 29,7% e a densidade aparente seca máxima 1,42 g/cm³.

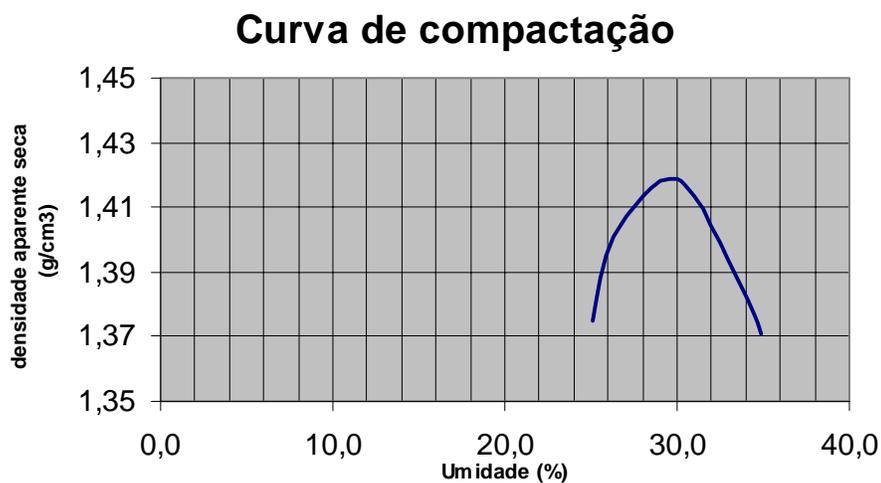


Figura 32 : gráfico da curva de compactação. Perfil 2 - horizonte C2

- Perfil 3, Horizonte C2, profundidade de 30 metros.

Através da curva de compactação da figura 33, pode-se determinar a umidade ótima de 17,1% e a densidade aparente seca máxima 1,72 g/cm³.

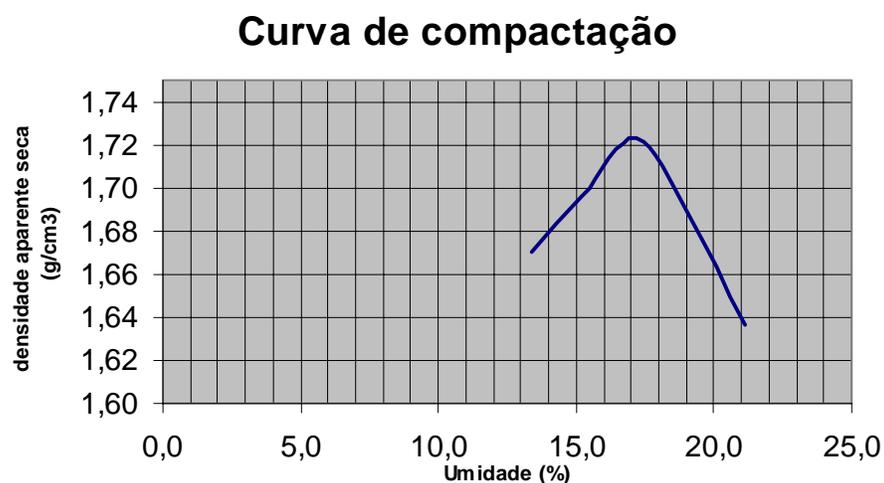


Figura 33: gráfico da curva de compactação. Perfil 3 - horizonte C2

- Perfil 4, Horizonte C4, profundidade de 23 metros.

Através da curva de compactação da figura 34, pode se determinar a umidade ótima de 22,9% e a densidade aparente seca máxima 1,59 g/cm³.

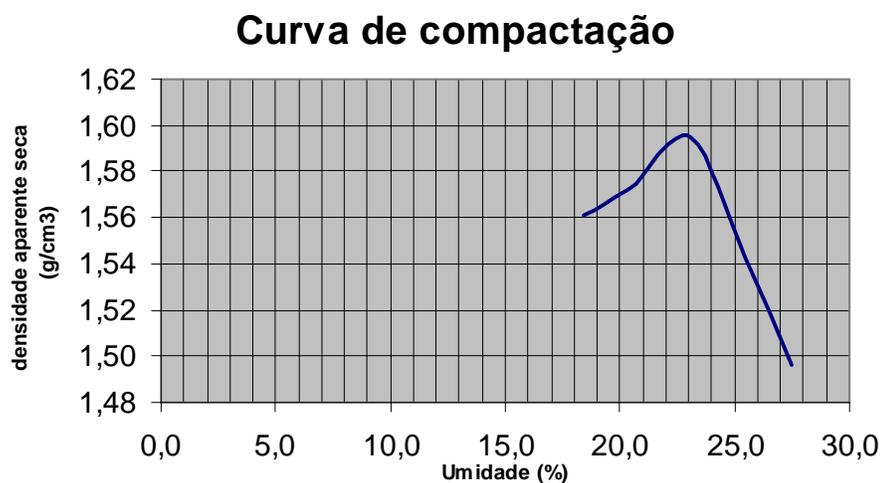


Figura 34 : gráfico da curva de compactação. Perfil 4 - horizonte C4

- Perfil 6, Horizonte C2, profundidade de 25 metros.

Através da curva de compactação da figura 35, pode se determinar a umidade ótima de 19,2% e a densidade aparente seca máxima 1,68 g/cm³.

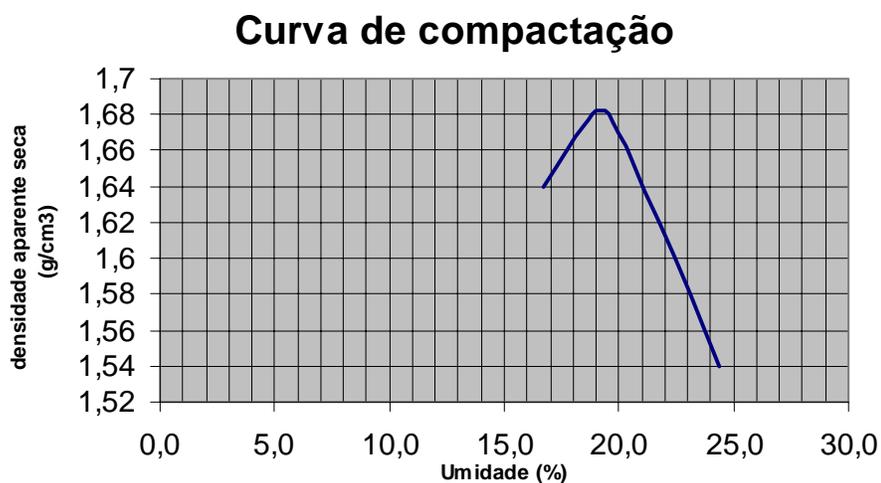


Figura 35 : gráfico da curva de compactação. Perfil 6 - horizonte C2.

- Perfil 7, Horizonte C2, profundidade de 35 metros.

Através da curva de compactação da figura 36 pode se determinar a umidade ótima de 22,9% e a densidade aparente seca máxima 1,59 g/cm³.

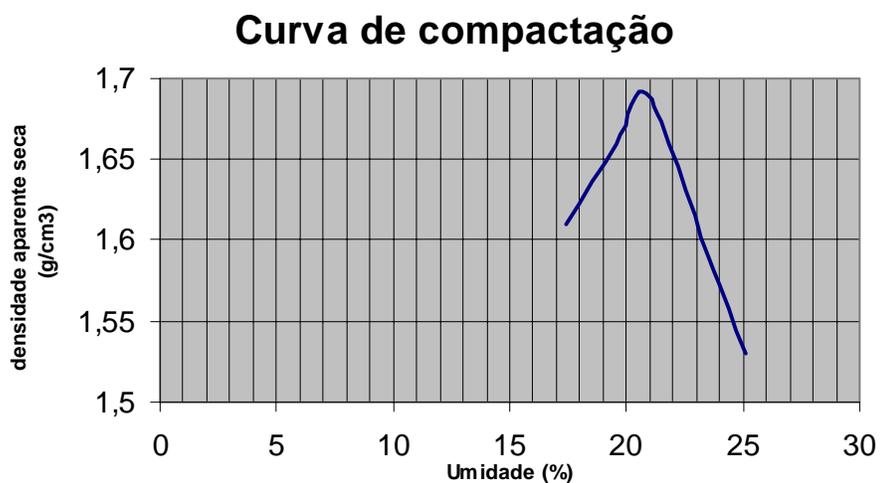


Figura 36 : gráfico da curva de compactação. Perfil 7 - horizonte C2.

Apresenta-se na tabela 30 com as umidades ótimas e densidades aparentes ótimas obtidos na amostras ensaiadas.

Tabela 30- Resultado dos ensaios de compactação

Perfil	horizonte	prof.(m)	Umidade(%)	Densidade Aparente Seca (γ_s)
1	B	3	29,6	1,47
2	C2	25	29,7	1,42
3	C3	30	17,1	1,72
4	C4	23	22,9	1,59
6	C2	25	19,2	1,68
7	C2	35	20,6	1,69

Na figura 37 apresenta-se um gráfico em que se analisaram as curvas em conjunto para se comparar com as curvas típicas encontradas em diversos solos brasileiros como pode ser visto na figura 38.

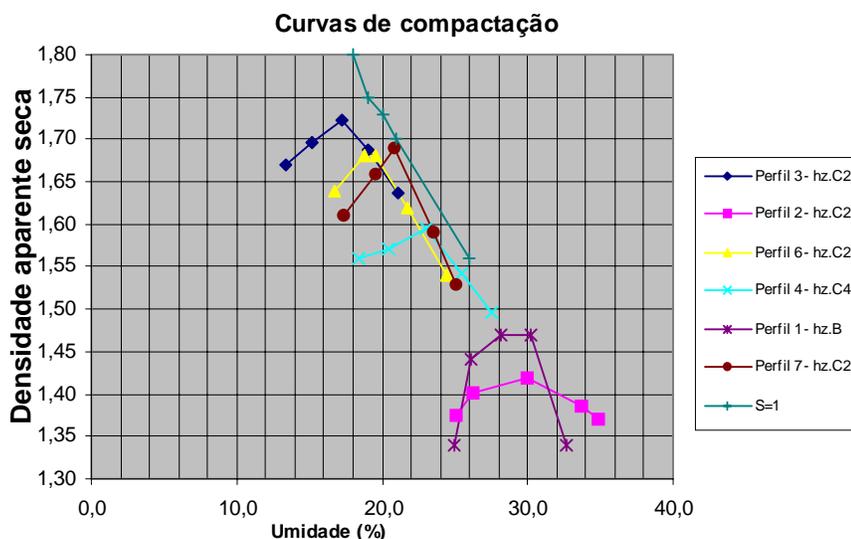


Figura 37: todas as curvas analisadas em um gráfico. S=1, indica 100% de saturação.

Analisando os valores encontrados na tabela 30 e comparando com as tabelas 2 a 8 da granulometria e a figura 37 das amostras analisadas em conjunto, observa-se que aquelas amostras que apresentaram maior percentual de argila, no caso em questão as amostras do perfil 1 (horizonte B) e perfil 2 (horizonte C2), necessitaram de mais umidade para atingir a densidade aparente máxima.

Ressalta-se ainda que as amostras que apresentaram a curvatura mais fechada é que tem textura mais granular, isto é, mais arenítica.

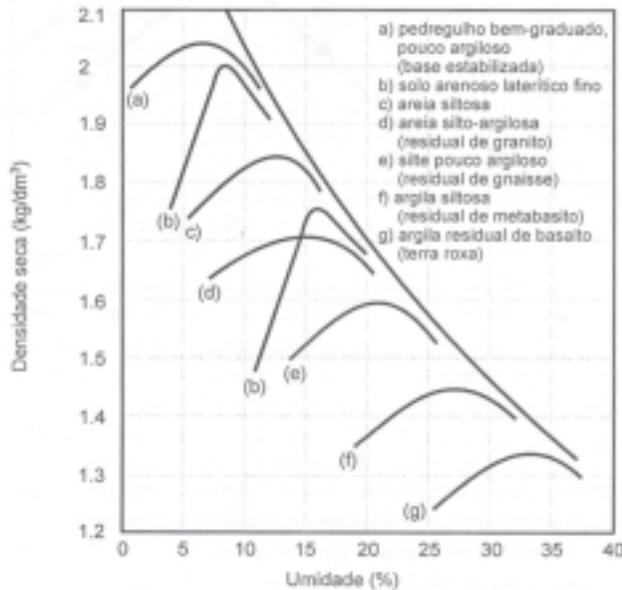


Figura 38: Curvas de compactação de diversos solos brasileiros (in Curso básico de mecânica de solos. Sousa Pinto. 2000)

Observando as curvas típicas de diversos solos brasileiros mostradas na figura 38, denota-se que as amostras encontram-se de acordo com as curvas correspondentes à (d), (e) e (f), sendo a última correspondente ao material da amostra 2 (perfil 2, horiz. C2) que está entre uma zona de transição entre o material de cor branca com textura granular e o material de rocha básica.

5.2 Propriedades geotécnicas esperadas

As características geotécnicas do perfil observado no gráfico de plasticidade da figura 14 na página 47, indicam que o material está em um intervalo que o classifica como sendo CH (argila muito plástica) ou CL (argila pouco plástica), com a maioria dos pontos estudados situados acima da linha "A".

Segundo o sistema Unificado de Classificação de solos (SUCS) (ASTM, 1983), da tabela 31, as propriedades esperadas para os materiais CH e CL são:

- CL → apresentam a característica de ser impermeável quando compactado, resistência regular e compressibilidade média quando compactado e saturado, não apresentam boa drenagem e seu valor como fundação variam de má à boa.
- CH → apresentam a característica de ser impermeável quando compactado, resistência baixa e compressibilidade alta quando compactado e saturado, não apresentam boa drenagem e seu valor como fundação variam de regular à má.

Tabela 31: propriedades esperadas dos grupos de solos do SUCS. Destacado em cinza a classificação do material estudado (ABGE, 1998).

SÍMBOLO DO GRUPO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTADO	RESISTÊNCIA COMPACTADA E SATURADA	COMPRESSIBILIDADE COMPACTADA E SATURADA	γ_{dmax} kg/m ³ (PN)	VALOR COMO FUNDAÇÃO	CARACTERÍSTICA DE DRENAGEM
GW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	20,0 à 22,0	Boa à excel.	Excelente
GP	Boa	Desprezível	Boa	Desprezível	18,0 à 20,0		Excelente
GM	Boa	Semip. à perm.	Boa	Desprezível	19,0 à 22,0		Regular à má
GC	Boa	Impermeável	Reg. à boa	Muito pequena	18,5 à 21,0	Má à boa	Má
SW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	17,5 à 21,0		Excelente
SP	Regular	Permeável	Boa	Muito pequena	16,0 à 19,0	Má à boa	Excelente
SM	Regular	Semip. à perm.	Boa	Pequena	17,5 à 20,0	Má à boa	Regular à má
SC	Boa	Impermeável	Reg. à boa	Pequena	17,0 à 20,0	Má à boa	Má
ML	Regular	Semip. à perm.	Regular	Média	15,0 à 19,0	Muito má	Regular à má
CL	Regular a boa	Impermeável	Regular	Média	15,0 à 19,0	Má à boa	Má
OL	Regular	Semip. à perm.	Baixa	Média	13,0 à 16,0	Má	Má
MH	Má	Semip. à perm.	Baixa à regular	Alta	11,0 à 15,0	Má	Regular à má
CH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	12,0 à 17,0	Regular à Má	Má
OH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	11,0 à 16,0	Muito má	Má
PT	Compactação extremamente difícil. Não utilizados como aterro. Devem ser removidos das fundações. Requalques excessivos. Resistência muito baixa						

Obs.: PN = Proctor Normal. γ_{dmax} = densidade aparente seca máxima.

Classificou-se o material também em relação a sua aplicação em estradas seguindo a classificação do *Highway Research Board* (HRB), sendo também conhecida como classificação da AASHTO. Utiliza-se a granulometria, sendo o grupo A-1, o grupo com melhores propriedades e o A-8, o de pior qualidade. Segundo a tabela 32 os materiais analisados foram caracterizados como sendo do tipo:

- Horizonte B: A-2-7 (para os perfís 6 e 7) e A-6 (para os perfís 1 e 4); → Os materiais classificados na faixa A-2-7 são considerados regulares como camada de pavimento e os A-6 não apropriados.
- Material de rocha básica do perfil 1: A-7; → Os materiais classificados na faixa A-7 são considerados como não apropriados em camada de pavimento

- Material de cor cinza claro e textura granular: A-2-6; → Os materiais classificados na faixa A-2-6 são considerados regulares como camada de pavimento
- Material vermelho: A-6 → Os materiais classificados na faixa dos A-6 são considerados não apropriados como camada de pavimento.

Tabela 32: Sistema de classificação HRB (AASHTO, 1973).

CLASSIFICAÇÃO GERAL GRUPOS E SUBGRUPOS	SOLOS GRANULARES 35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA 200#								SOLOS SILTOSOS E ARGILOSOS MAIS DE 35% PASSANDO NA PANEIRA 200#			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análise granulométrica												
% passando na 2,00 mm	50 mx											
% passando na 0,42 mm	30 mx	50mx	50 mi									
% passando na 0,075 mm	15 mx	25 mx	10 mx	35 mx	35 mx	35 mx	35 mx	36 mi	36 mi	36 mi	36 mi	
características da fração passada na peneira 0,42 mm												
Limite de liquidez				40 mx	41 mi	40 mx	41 mi	40 mx	41 mi	40 mx	41 mi	
Índice de plasticidade	6 mx		NP	10 mx	11 mx	11 mi	11 mi	10 mx	10 mx	11 mi	11 mi	
Tipo de material	Fraguemento Pedra pedregulho e areia		Areia fina	Pedregulho e areias siltosas e argilosas				Solos siltosos		solos argilosos		
Comportamento como camada do pavimento	Excelente à bom						Regular à mau					

Solos altamente orgânicos podem ser classificados como A8
 índice de plasticidade do subgrupo A-7-5 é igual ou menor do que (LL - 30)
 NP = não plástico. Mx = máximo. Mi = mínimo

Analisando a figura 37 da página 69 com todos os gráficos das amostras, observa-se que todas as amostras localizaram-se próximas a linha em que $S=1$, quer dizer que, encontra-se no campo de estabilidade logo após a construção de acordo com a figura 39, Porém, também, maior a rigidez do solo, conseqüentemente, maior o risco de ocorrência de trincas que podem ser fatais para a construção de uma barragem e problemático na construção de aterros.

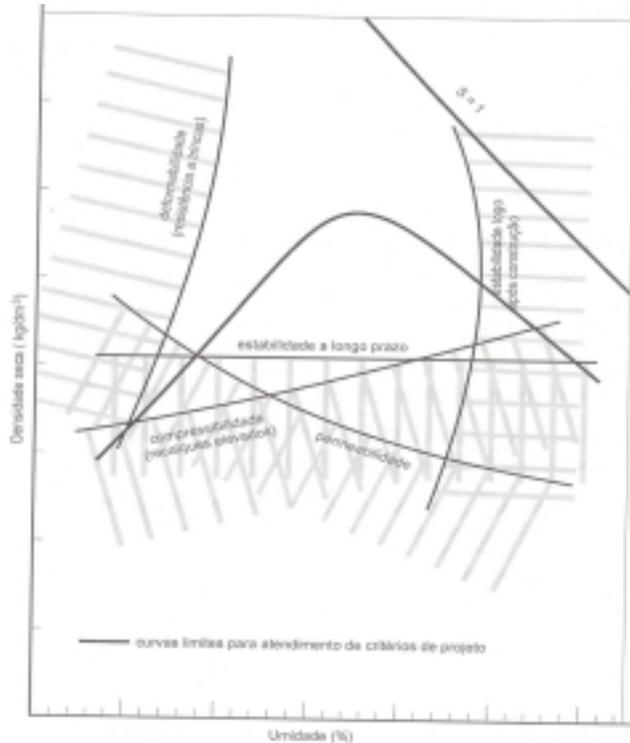


Figura 39: Definição das especificações de compactação em função do comportamento do solo (in Curso básico de mecânica de solos). Sousa Pinto, 2000)

6 CONCLUSÕES

- a) A composição mineralógica da fração argila do perfil estudado é homogêneo, sendo formado predominantemente por caulinita e ilita subordinada.
- b) Os principais processos geoquímicos que atuaram no perfil foram hidratação e hidrólise. A alteração deste perfil enquadra-se no processo geoquímico de monossilitização.
- c) A análise química revelou que no perfil 4 houve uma concentração de óxido de ferro nos horizontes C4 e C5 observadas na análise de ataque sulfúrico. Isto ocorre porque no local há uma dobra que gerou fraturas que foram preenchidas por esse material.
- d) A análise química, permite concluir que o perfil estudado foi submetido a um severo processo intempérico, tendo sido lixiviados as bases e

permanecendo como resultado SiO_2 e Al_2O_3 . Dessa forma os índices químicos tais como: K_i ; K_r , ΔpH e Valor T confirmaram que o perfil encontra-se em um nível de intemperismo muito elevado.

- e) Segundo o gráfico de plasticidade de Casagrande os solos estudados encontram-se em um intervalo que o classifica como sendo CH (argila muito plástica) ou CL (argila pouco plástica), com a maioria dos pontos estudados situados acima da linha "A".

- f) Segundo o sistema Unificado de Classificação de solos (SUCS) (ASTM, 1983), os materiais classificados como CL quando compactados são impermeáveis e quando compactados e saturados apresentam resistência regular e média compressibilidade, não apresentam boa drenagem e seu valor como fundação varia de má à boa. Os materiais classificados como CH apresentam a característica de ser impermeável quando compactado, resistência baixa e compressibilidade alta quando compactado e saturado, não apresentam boa drenagem e seu valor como fundação variam de regular à má.

- g) Segundo a classificação do *Highway Research Board* (HRB), sendo também conhecida como classificação da AASHTO.
 - Horizonte B: A-2-7 (para os perfís 6 e 7) e A-6 (para os perfís 1 e 4); → Os materiais classificados na faixa A-2-7 são considerados regulares como camada de pavimento e os A-6 não apropriados.
 - Material de rocha básica do perfil 1: A-7; → Os materiais classificados na faixa A-7 são considerados como não apropriados em camada de pavimento
 - Material de cor cinza claro e textura granular: A-2-6; → Os materiais classificados na faixa A-2-6 são considerados regulares como camada de pavimento
 - Material vermelho: A-6 → Os materiais classificados na faixa A-6 são considerados não apropriados como camada de pavimento.

- h) Em termos de compactação, os materiais apesar de não apresentarem os melhores parâmetros geotécnicos, pode de ser usado como aterro em obras de menor porte que não exija grande volume a ser compactado.
- i) Os índices químicos, físicos, mineralógicos e geotécnicos do perfil demonstram que há heterogeneidade longitudinalmente e verticalmente no perfil estudado. No entanto observa-se que essa heterogeneidade varia dentro de um pequeno intervalo. Ressalta-se que tais heterogeneidades observadas acompanham as variações litológicas, texturais, estruturais e pedogenéticas da área estudada.

7 RECOMENDAÇÕES

Para os próximos trabalhos a serem realizados nessa área de estudo, será necessário uma análise mais profunda em termos da relação solo residual jovem - rocha, já que neste trabalho não foi possível alcançar o nível rochoso por falta de dados de sondagens.

Será necessário fazer lâminas delgadas para análise da micromorfologia para melhor entendimento do processo pedogenético

Obter novos parâmetros geotécnicos para melhor classificar o material quanto ao seu uso como aterro. Sugerem-se os ensaios de compactação com outras energias de compactação, permeabilidade e ensaios em que se análise melhor o estado de tensões dos solos compactados.

8 - BIBLIOGRAFIA

ABGE. "Geologia de engenharia". Editores Antônio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. São Paulo - ABGE. 1998.

BARROSO, E.V.. "Estudo das Características Geológicas e do Comportamento Geotécnico de um Perfil de Intemperismo em Leptinito". Tese de Mestrado, Dept^o de Geologia, IGEO/UFRJ. 1993.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: CPRM, 2001. 63p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 79p.

HEMBOLD, R.; VALENÇA, J. G.; LEONARDOS Jr., O. H.. *Mapa Geológico do Estado da Guanabara*. Folhas Baía da Guanabara- Ilha Rasa, Vila Militar-Pontal de Sernambetiba, Santa Cruz- Restinga da Marambaia. Escala 1:50000. DGM/DNPM, Rio de Janeiro. 1965

LAGE, INGRID DE CARVALHO. "*Caracterização Geológica e Hidrogeológica de uma Área de Manguezal em Indústria Petroquímica*." Rio de Janeiro, 2002 p. Instituto de Geociências – UFRJ.

MORAES, P. O. "*A Influência Da Xistosidade Na Condutividade Hidráulica De Solos Desenvolvidos De Gnaisses No Estado Do Rio De Janeiro E Construção De Um Permeâmetro*". Monografia De Graduação. Rio de Janeiro, 2001 p. Instituto de Geociências – UFRJ.

PINTO, CARLOS DE SOUSA. "*Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*". São Paulo, 2000. Ed. Oficina do texto.

PIRES, F. R. M.; HEILBRON, M. "*Estruturação e Estratigrafia de Gnaisses do Rio de Janeiro*". In: Simp. Bras. Geol. Sudeste, 1, Rio de Janeiro, 1989. Bol. Resumos. Rio de Janeiro, SBG, p. 149-150.

PIRES, F. R. M.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; BESSA, M. P. 1993 "*Litoestratigrafia, Evolução Tectono- Metamórfica e Magmatismo no Pré-*

Cambriano do Setor Sudeste do Município do Rio de Janeiro". In: Simp. Bras. Geol. Sudeste, 3, Rio de Janeiro, 1993. Bol. Resumos. Rio de Janeiro, SBG, p. 1974-177.

POLIVANOV, HELENA. "Pedologia (Notas de aula)." Rio de Janeiro, 2000

POLIVANOV, HELENA. " *Caracterização Química, Mineralógica, Física e Geotécnica de Perfis de Alteração Desenvolvidos de Gnaisses*". Tese de Doutorado, Dept^o de Geologia, IGEO/UFRJ.1998.

SANTOS, H. M. C. "*Caracterização mineralógica, química e geotécnica dos solos compressíveis do litoral da Zona Oeste do município do Rio de Janeiro.*" Seminário de D.Sc., Geologia, UFRJ, 2001.

SICCT - PRÓMINÉRIO. *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. Coordenação Celso B. Gomes. São Paulo. Ed. Edgard Blücher . 1984.

VIEIRA, LUCIO SALGADO. *Manual da ciência de solos: com ênfase aos solos tropicais*. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 1988.