

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE SOLOS RESIDUAIS DA
REGIÃO METROPOLITANA DA CIDADE DE SÃO PAULO: COMPLEXO EMBU E
MACIÇO CANTAREIRA

Caio Chaves Sampaio

Orientador: Prof. Dr. Lindolfo Soares
Co-Orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato
Co-Orientador: Marcelo Denser Monteiro

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-13/10)

São Paulo
2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DE SOLOS RESIDUAIS DA
REGIÃO METROPOLITANA DA CIDADE DE SÃO PAULO: COMPLEXO EMBU E
MACIÇO CANTAREIRA

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-13/10)

De acordo:

Caio Chaves Sampaio

Prof. Dr. Lindolfo Soares

São Paulo
2013

RESUMO

Com dados de ensaios de granulometria e limites de Atterberg fornecidos pela Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô, obtidos a partir das amostras de 65 sondagens, que totalizaram 156 amostras de solo, programadas para elaboração dos projetos das Linhas 4, 5 e 6, foram elaborados gráficos de granulometria e cartas de plasticidade de solos residuais relacionados às rochas do Complexo Embu e do Maciço Cantareira. Os resultados obtidos foram analisados na busca da identificação de padrões de comportamento desses solos para que parâmetros geotécnicos utilizados para projetos das futuras obras de escavação na Região Metropolitana de São Paulo sejam mais bem previstos e proporcionem um dimensionamento mais adequado durante as etapas dos projetos básico e executivo. A conclusão sobre as duas unidades geológicas em questão é de que solos residuais referentes ao Maciço Cantareira, servindo como exemplo a solos de outros corpos intrusivos da região, apresentam um padrão claro e homogêneo de comportamento geotécnico de acordo com a topografia, enquanto que os referentes às litologias do Complexo Embu mostram-se com um grau de heterogeneidade, demandando investigações geotécnicas mais detalhadas.

ABSTRACT

Using data from tests on Atterberg limits and grain gradation, in samples obtained during drilling campaigns for investigation related to engineering projects of the new subway lines 4, 5 and 6 in the city of São Paulo, graphics were created for the residual soils related to the Embu Complex and the Cantareira Massif. The goal was to obtain behavior patterns for these soils that would result in geotechnical parameters used in future projects of new excavation works in the Metropolitan Region of São Paulo. These parameters can result in better planning and provide a more accurate dimensioning of future works. The findings on the two lithologies here studied show us that the Cantareira Massif, serving as an example to other intrusive bodies in the region, presents a clear pattern for its soils which relates to topographic position, while the Embu Complex shows up with a heterogeneity degree that calls for a greater research during projects elaboration.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que me trouxe até aqui e me apoiou em todos os momentos da minha vida, inclusive naqueles em que eu errei.

Também àqueles que fazem parte do Instituto de Geociências. Aos professores e funcionários, muito obrigado.

Agradeço ao Marcelo Denser Monteiro que me ajudou durante todo este projeto, me recebeu no Metrô com muito boa vontade e me salvou do desespero algumas vezes.

Agradeço a todos os colegas da turma 52 que me acompanharam durante esses cinco anos em que muito mudei para melhor. Todos foram muito importantes durante a graduação. Agradeço em especial àqueles que estiveram mais perto de mim. Guilherme Lopez, obrigado pelas constantes risadas. Victor Sorze, obrigado pela amizade e pelo companheirismo que ficarão para sempre. Galera da Asteno, valeu pelas festas, pelas risadas e fica a homenagem por aguentar o Gilbertinho durante cinco anos. Coragem.

Ao pessoal da turma 51 que eu só realmente conheci no quarto ano, mas que se tornaram bons amigos. Em especial Camila e Renata.

Heloisa, obrigado por tudo. Não acho que eu ainda encontre uma pessoa que eu tenha maior carinho e que mereça mais ser feliz do que você. Obrigado por ter me ajudado, mesmo que você nem saiba o quanto.

Tiago, João, Vinícius, Renato, Mauri, Lucas, Augusto, Daniel e o líder Gabriel. Pra sempre J.S.!

E o agradecimento mais especial de todos à Nathalia. Que esteve do meu lado durante dois anos e meio e foi a pessoa que mais me apoiou e motivou para que eu terminasse este trabalho de graduação ainda em 2013. Obrigado pelos melhores dois anos e meio da minha vida e por ter sido a razão dela por todo esse tempo. Nunca vou te esquecer. Graças a você, todas as páginas que virão a seguir serão possíveis. E não só as deste trabalho, mas sim da minha vida. Acima de tudo, dedico este trabalho a você. "Nada que é bom de verdade é fácil", mas certamente tudo se tornou mais fácil ao seu lado, mesmo que eu não tenha dado o valor merecido em certo momento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO DO TRABALHO	2
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Contexto Geológico	3
3.1.1. <i>Complexo Embu</i>	6
3.1.2. <i>Maciço Cantareira</i>	6
3.2. Solos Residuais: como se formam e suas feições características	8
3.3. Técnicas de Investigação	10
3.3.1. <i>Sondagem a tradô</i>	11
3.3.2. <i>Sondagem a Percussão</i>	11
3.3.3. <i>Ensaio SPT</i>	11
3.4. Ensaios de Laboratório: Analise granulométrica e Limites de Atterberg	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1. Localização dos Dados	14
4.1.1. <i>Linha 4 – Amarela</i>	14
4.1.2. <i>Linha 5 – Lilás</i>	16
4.1.3. <i>Linha 6 – Laranja</i>	17
4.2. Análise Granulométrica	18
4.3. Limites de Atterberg	20
5. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	23
5.1. Cartas de Plasticidade	23
5.1.1. <i>Complexo Embu</i>	23
5.1.2. <i>Maciço Cantareira</i>	24
5.2. Curvas Granulométricas	26
5.2.1. <i>Complexo Embu</i>	26
5.2.2. <i>Maciço Cantareira</i>	30
5.3. Relação de granulometria quanto à cota topográfica	32
5.3.1. <i>Complexo Embu</i>	33
5.3.1.1. Linha 4	33
5.3.1.2. Linha 5	37
5.3.2. <i>Maciço Cantareira</i>	41

6. INTERPRETAÇÕES	45
6.1. Complexo Embu	45
6.2. Maciço Cantareira	47
7. CONCLUSÃO	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
9. ANEXOS	52
9.1. Tabela de dados – Linha 4	53
9.2. Tabela de dados – Linha 5	56
9.3. Tabela de dados – Linha 6	58
9.3.1. <i>Complexo Embu</i>	59
9.3.2. <i>Maciço Cantareira</i>	60

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana São Paulo - RMSP é o maior conglomerado populacional da América Latina e dos maiores do mundo. Sua crescente demanda por obras de infraestrutura exige a busca de novas soluções para melhoria da qualidade de vida de sua população. Por isso, após décadas de investimentos, a RMSP se tornou a região brasileira com a maior rede de transporte público subterrâneo.

Para a elaboração dos projetos de implantação das obras do metrô da RMSP há a necessidade de amplo conhecimento do subsolo desta região. Neste contexto, com a finalidade de buscar tal conhecimento, a Companhia do Metropolitano de São Paulo necessita de uma vasta campanha de investigação geotécnica dos solos e embasamento cristalino que terão direta ou indireta influência em tais obras. Essa investigação consiste em uma grande campanha de sondagens, sejam elas a trado, a percussão ou rotativas, de forma a obter a maior amostragem possível para que sejam elaborados perfis geológico-geotécnicos e ensaios de laboratório que caracterizem da melhor forma possível os solos e rochas no percurso dos túneis do Metrô.

Os dados obtidos são tratados e utilizados para que se definam os parâmetros necessários para o planejamento das obras de escavação do metrô, tanto dos túneis quanto das estações.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do presente trabalho é a caracterização dos solos residuais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) através de pesquisa bibliográfica e especialmente de dados obtidos durante as campanhas de investigações geotécnicas para a implantação das obras das Linhas 4, 5 e 6 do Metrô de São Paulo. Neste contexto, através de dados de sondagens e de amostras dos solos residuais foi elaborada a caracterização geotécnica destes solos com ênfase à granulometria e Limites de Atterberg, para dar subsídios à identificação dos parâmetros geotécnicos de interesse à elaboração do projeto de engenharia para túneis e estações.

Este trabalho busca a comparação dos resultados obtidos em diferentes aspectos de forma a estabelecer padrões de comportamento para que sejam usados em futuras obras de escavação na RMSP, já que este tipo de estudo na literatura se restringe em sua grande maioria aos sedimentos da Bacia de São Paulo. Um dos trabalhos de maior importância nessa questão é o de Rocha (1995) na qual se baseia parte da estrutura do presente trabalho.

Espera-se que os dados deste trabalho sejam de importância para futuros projetos do próprio Metrô de São Paulo. Novas linhas estão sendo programadas para ampliar a infraestrutura da RMSP e diversas delas estarão situadas em porções do embasamento relacionadas tanto ao Complexo Embu quanto às rochas intrusivas semelhantes ao Maciço Cantareira, onde estão inseridas as Linhas 4, 5 e 6.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contexto Geológico

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) está inserida no contexto da Província Mantiqueira de Almeida et al. (1977) e, mais especificamente, a Bacia de São Paulo encontra-se sobre o Orógeno Ribeira (Juliani, 1992) de estruturação regional NNE-SSW, condicionada por falhas transcorrentes (apud Hasui et al., 1975).

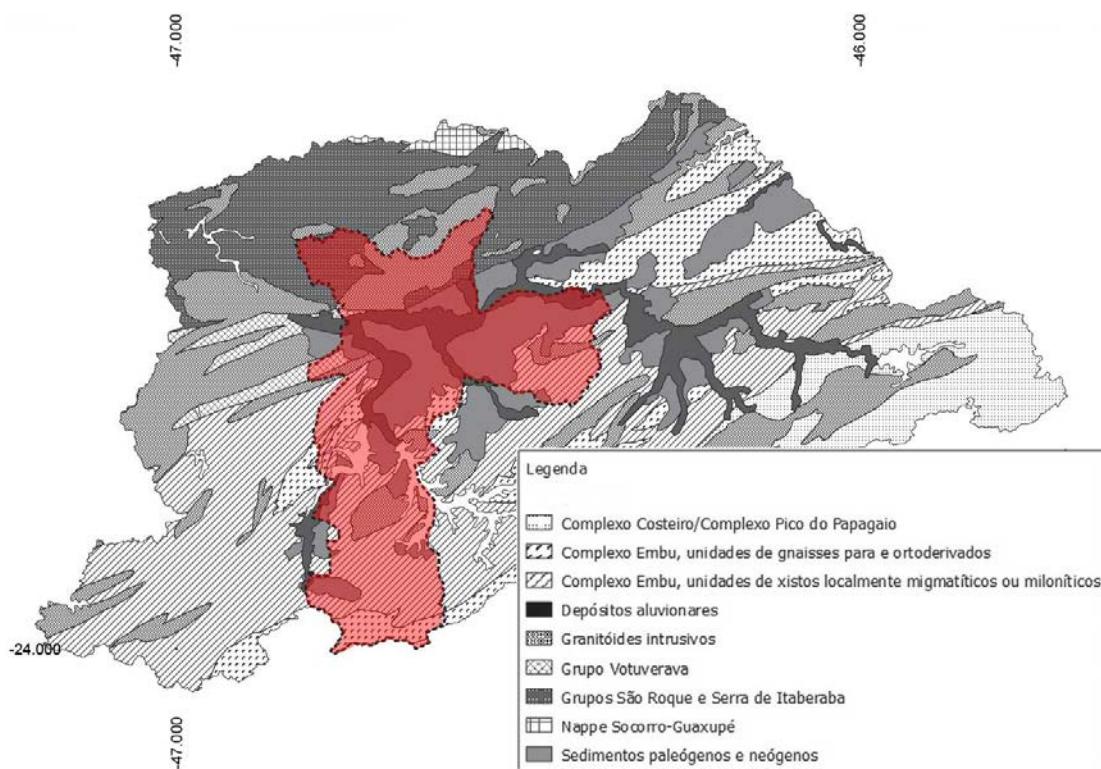


Figura 1 - Mapa geológico da RMSP. Município de São Paulo em vermelho. Retirado de Monteiro et al (2012).

A estruturação predominante mencionada acima se deve principalmente a eventos durante o Neoproterozóico, com a aglutinação de inúmeras massas continentais que viriam a formar o supercontinente Gondwana. Formou-se durante esse evento o Sistema Orogênico Mantiqueira com os cinturões Araçuaí, Tijucas e Ribeira (Hasui, 2010). Neste último, está a RMSP. Essas estruturas, grosso modo NE-SW na região, se devem ao sistema de cavalgamentos que se formou com a colisão continental citada (Figura 2). No caso do Cinturão

Ribeira, devido à obliquidade da colisão, formou-se um grande sistema transcorrente, e a RMSP está inserida no contexto do sistema chamado de Paraíba do Sul.

A geologia da RMSP é formada, portanto, pelos sedimentos da Bacia de São Paulo e por seu embasamento, condicionado e estruturado de acordo com os sistemas estruturais anteriormente citados. Tal embasamento consiste de rochas metamórficas associadas ao Complexo Embu, aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba e corpos ígneos intrusivos.

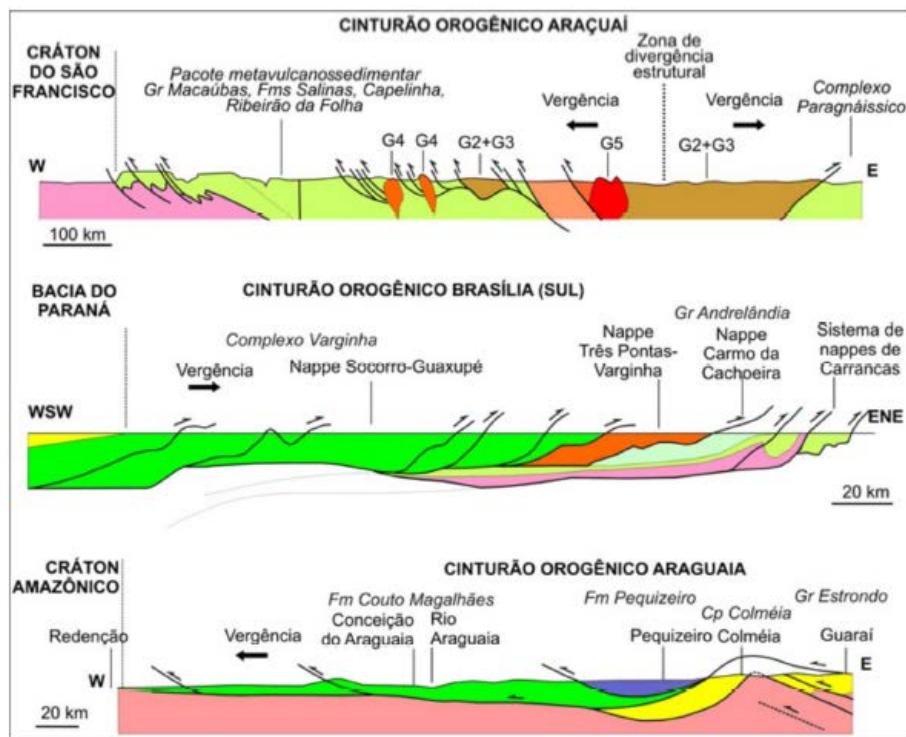


Figura 2 - Seções simplificadas de cinturões de cavalgamento. Fonte: Hasui, 2010. Modificado de: Cinturão Araçuaí - Pedrosa-Soares et al. (2007); Cinturão Brasília (sul) - Campos Neto (2000); Cinturão Araguaia - Hasui & Costa (1990).

O Complexo Embu predomina na RMSP. Os litotipos característicos desse complexo incluem xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e calciosilicáticas (Monteiro et al. 2012). Essas são rochas descritas por Juliani (1992) como ortognaisses polimigmatizados, paragnaisses com faixas de xistos de alto grau metamórfico e por fim xistos e filitos de baixo grau.

Os grupos São Roque e Serra do Itaberaba, localizados mais a norte da RMSP, estão em contato com o Complexo Embu pelo sistema de falhas de Taxaquara e Jaguari (Figura 3). São grupos que se apresentam como sequências metavulcanossedimentares, e, segundo Rodriguez

(1998), como filitos, metarenitos e quartzitos, além de anfibolitos, metacalcários, dolomitos, xistos e calciosilicáticas de forma secundária.

As últimas rochas do embasamento são as intrusivas, caracterizadas como granitoides sin a pós-tectônicos. A composição pode variar de tonalítica a granítica, com granulometria fina a muito grossa.

Este trabalho é direcionado aos solos residuais que, segundo Terzaghi et al. (1996), são solos formados in situ, sem transporte que caracterize sedimentação, resultado de ação do intemperismo químico e/ou físico e portanto com características herdadas das próprias rochas presentes no local de sua formação.

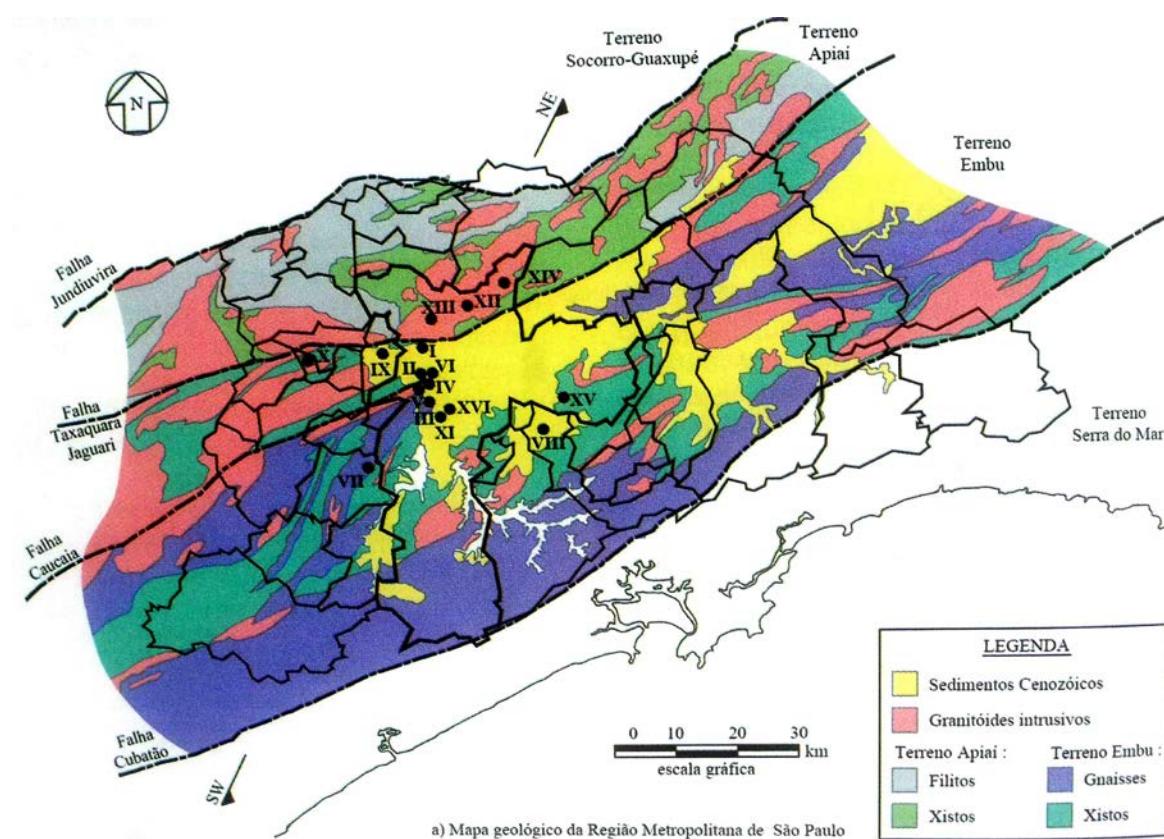


Figura 3 – Mapa geológico da RMSP. Retirado de Futai et al. (2012).

Os dados aqui utilizados para as análises se relacionam mais precisamente às rochas gnáissicas do Complexo Embu e aos granitoides intrusivos do Grupo São Roque – no caso, o Maciço Cantareira – dentro do Terreno Apiaí da Figura 3.

3.1.1. Complexo Embu

O Complexo Embu, embasamento pré-cambriano que aflora na porção centro-leste do estado de São Paulo, foi dividido em três unidades segundo Fernandes (1991). São elas: Redenção da Serra, Rio Paraibuna e Rio Una.

A formação dessas litologias, descritas a seguir, se deu durante cinco fases de deformação, tendo como principais e mais marcantes as duas primeiras que ocorreram durante o Proterozóico Superior e apresentaram-se como de grau médio a alto de metamorfismo. A foliação principal se deve ao segundo evento deformacional (Fernandes, 1991).

A Unidade Redenção da Serra tem como rochas predominantes os gnaisses peraluminosos – com predomínio de muscovita-granada-silimanita-biotita-gnaisses – e (\pm granada)-biotita-plagioclásio-gnaisses de composição tonalítica a granodiorítica com calciosilicáticas e anfibolitos associados. Essas duas variações apresentam-se muitas vezes intercaladas, sendo difícil a distinção e definição de uma sequência estratigráfica, apesar de os gnaisses peraluminosos estarem muitas vezes em contato com o Complexo Rio Capivari, sugerindo ser a porção mais basal dessa unidade.

A sul da zona de cisalhamento de Cubatão está a Unidade Rio Paraibuna. As rochas características dessa unidade são os quartzitos intercalados com calciosilicáticas, ambos litotipos em pacotes de espessuras até métricas. Os quartzitos tem aspecto placoso e bandado e podem chegar a mais de 100 metros de espessura a sudeste da faixa. Além das duas variações citadas anteriormente, nessa unidade existem ainda os granada-silimanita-biotita-quartzo-xistos, semelhantes aos gnaisses peraluminosos da Unidade Redenção da Serra.

A última é a Unidade Rio Una. Predominam os xistos ora mais micáceos, ora mais quartzosos, intercalados entre si. São rochas compostas basicamente de quartzo, muscovita e biotita, com raras aparições de granada. Sua granulação vai de fina a média. Ocorrem comumente intercalações dos xistos com quartzitos impuros de espessuras até decimétricas. Também é comum, próximo à zona de cisalhamento Cubatão, a presença de pegmatitos.

3.1.2. Maciço Cantareira

O Maciço Cantareira está inserido no contexto da Faixa São Roque, delimitada pelas zonas de cisalhamento de Jundiuívira a norte e Taxaquara-Rio Jaguari, a sul. A leste é limitada

pelo Falhamento de Sertãozinho (Hasui et al. 1981). A oeste é recoberta pelos sedimentos da Bacia do Paraná.

O Grupo São Roque é dividido em duas unidades litoestratigráficas que se relacionam transicional e tectonicamente (Dantas, 1990): A Unidade Inferior, onde predomina sequência metapelítica com níveis metavulcânicos básicos, localmente ácidos, e a Unidade Superior com predominio de sequência metarrítimica (filitos, metarritmitos e metarenitos).

Além das duas unidades citadas, há ocorrência de inúmeros corpos granitoides intrusivos em suítes pré, sin e pós-tectônicas.

Os maciços da Cantareira e de Mairiporã compõem a Suíte Sin a Tardi-Tectônica.

O Maciço da Cantareira tem forma aproximadamente triangular, ocupa uma área de cerca de 320km² e se estende desde a Zona Norte da capital até o município de Mairiporã, compondo a maior parte da Serra da Cantareira, em direção NE-SW. É delimitado por contatos tectônicos, a não ser no limite norte, onde o contato é transicional (Ellert, 1964), e as rochas encaixantes tratam-se de xistos e filitos, subordinadamente quartzitos, com estruturação concordante NE-SW.

Texturalmente, a feição dominante é de caráter porfiróide, com megacristais centimétricos de feldspato potássico, podendo atingir até 10cm, em matriz fanerítica, inequigranular, média a grossa e eventual foliação definida pela biotita, definindo textura granular hipidiomórfica (Dantas, 1990). Contém ainda feições de alinhamento de minerais e enclaves, além de quartzo e feldspatos recristalizados.

A estruturação deste granitoide é foliada a maciça, com zonação da borda para o centro. Sua coloração é de leuco a mesocrática, no sentido mencionado, indo de cinza clara a tons esverdeados devido a zonas de epidotização.

Em termos composicionais, o Maciço da Cantareira apresenta-se como granodioritos e monzogranitos, variando em alguns casos para quartzo-monzodioritos, quartzo-dioritos, tonalitos, quartzo-monzonitos e sienogranitos (Figura 4).

Os dois corpos dessa suíte apresentam mineralogia e características petrográficas semelhantes. A matriz é formada em média por cerca de 30% de quartzo e até 70% de plagioclásio. Os minerais predominantes no total da rocha são: quartzo, plagioclásio, microclínio, albite e biotita.

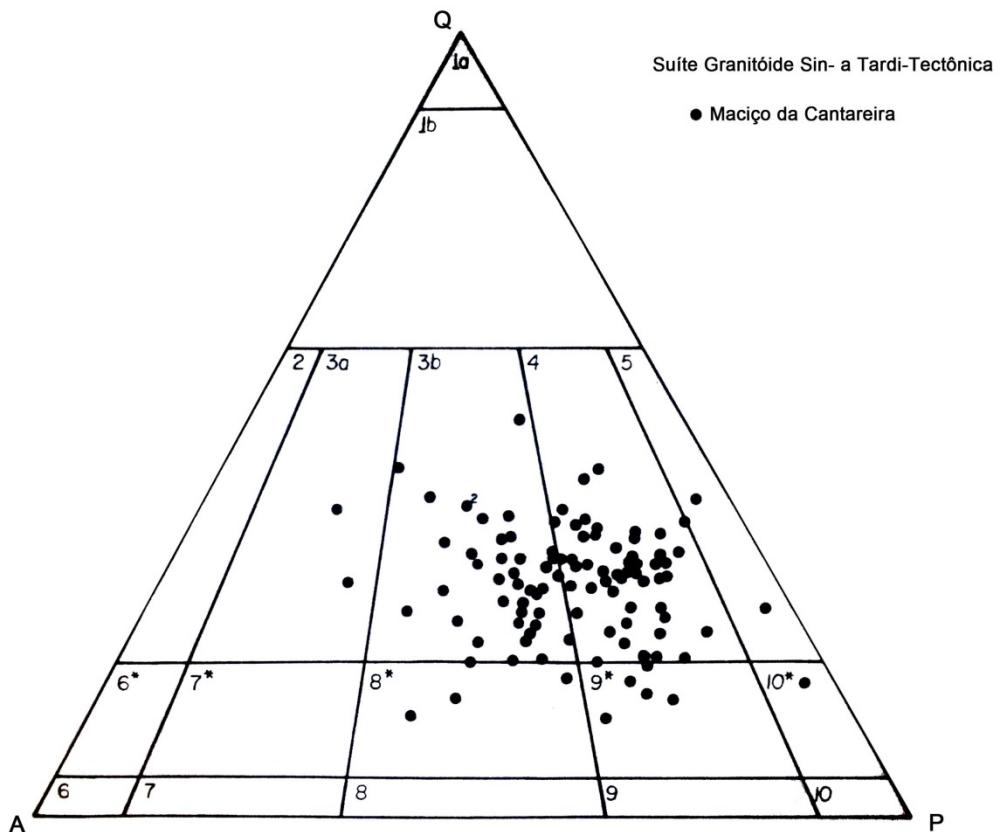


Figura 4 – Diagrama QAP de amostras do Maciço da Cantareira. Retirado de Dantas (1990).

Em meio ao Maciço da Cantareira há presença de enclaves, inclusive xenólitos de xistos, calciossílicáticas, anfibolitos e quartzitos.

3.2. Solos Residuais: como se formam e suas feições características

Todos os solos são originados de ação do intemperismo, ou seja, de um conjunto de processos físicos e químicos que levam à desagregação e decomposição, respectivamente, de rochas superficiais aflorantes ou não.

Os solos residuais constituem o chamado manto de alteração. São aqueles que se formam *in situ*, ou seja, não sofreram transporte após os processos intempéricos, sejam físicos ou químicos, que atuaram sobre a rocha-mãe. Graças a esta falta de transporte, muitas das estruturas anteriores à sua formação são preservadas, como foliação e descontinuidades. É

muito comum ver em amostras destes solos uma forte foliação preservada e definida por micas, como no caso dos gnaisses e xistos da RMSP.

O intemperismo é controlado principalmente por clima e relevo, além obviamente das condições e do tempo de exposição da rocha-mãe.

Climas úmidos são grandes aceleradores dos processos intempéricos. Isto é observado facilmente se compararmos os solos de regiões tropicais ou desérticas, por exemplo. Em desertos é muito difícil, se não impossível, que se encontrem locais com espessos mantos de alteração, enquanto que em regiões tropicais, como São Paulo, há até dezenas de metros de rocha alterada, saprolítica.

O relevo também é um fator importante para controlar a formação de solos residuais. Topografias que favoreçam a infiltração d'água como terrenos planos em geral, aceleram o intemperismo. Enquanto isso em locais muito íngremes, onde a água apenas tem tempo de percorrer caminhos superficiais, dificilmente sofrem com alguma influência intempérica significante nesta questão.

Apesar das inúmeras variações litológicas, rochas metamórficas e ígneas – que são os tipos de rocha relevantes a este trabalho – tendem a formar padrões de alteração de simples distinção através da observação dos perfis de alteração e seus solos residuais correspondentes. Tratam-se basicamente dos mesmos horizontes, apenas com diferenças nas estruturas preservadas em cada situação como, por exemplo, a foliação de rochas metamórficas.

O perfil de alteração proposto por Vaz (1996) apresenta os horizontes de alteração que se espera encontrar em rochas de zonas tropicais (Figura 5), onde este trabalho se insere. Na base do perfil de alteração, encontramos, obviamente, a Rocha Sã (RS) não alterada. Acima, o horizonte de Rocha Alterada Dura (RAD) que foi condicionado, principalmente, por processos intempéricos físicos. A seguir, Rocha Alterada Mole (RAM), onde começa a predominar o intemperismo químico que segue até o Solo de Alteração (SA), ainda com estruturas reliquias preservadas. Por fim, temos o Solo Eluvial (SE). Este último já não preserva estruturas, cor e a maior parte dos minerais originais da rocha-mãe.

Em obras de engenharia são feitas campanhas de sondagens, sejam a trado, a percussão ou rotativas, de forma a coletar o maior número de amostras possível. A classificação dos solos e do maciço é feita através de método tátil-visual. Os solos são diferenciados quanto à granulometria, compacidade (solos arenosos) ou dureza (solos argilosos) e cor. As rochas,

além de características como granulometria e foliação, são classificadas de acordo com o grau de fraturamento, grau de alteração e grau de coerência (C1 a C5), além do importante RQD (Rock Quality Designation) que é calculado através do resultado da somatória de porções do testemunho delimitadas por fraturas que tenham mais de 10 centímetros de comprimento, dividida pelo comprimento total dos testemunhos.

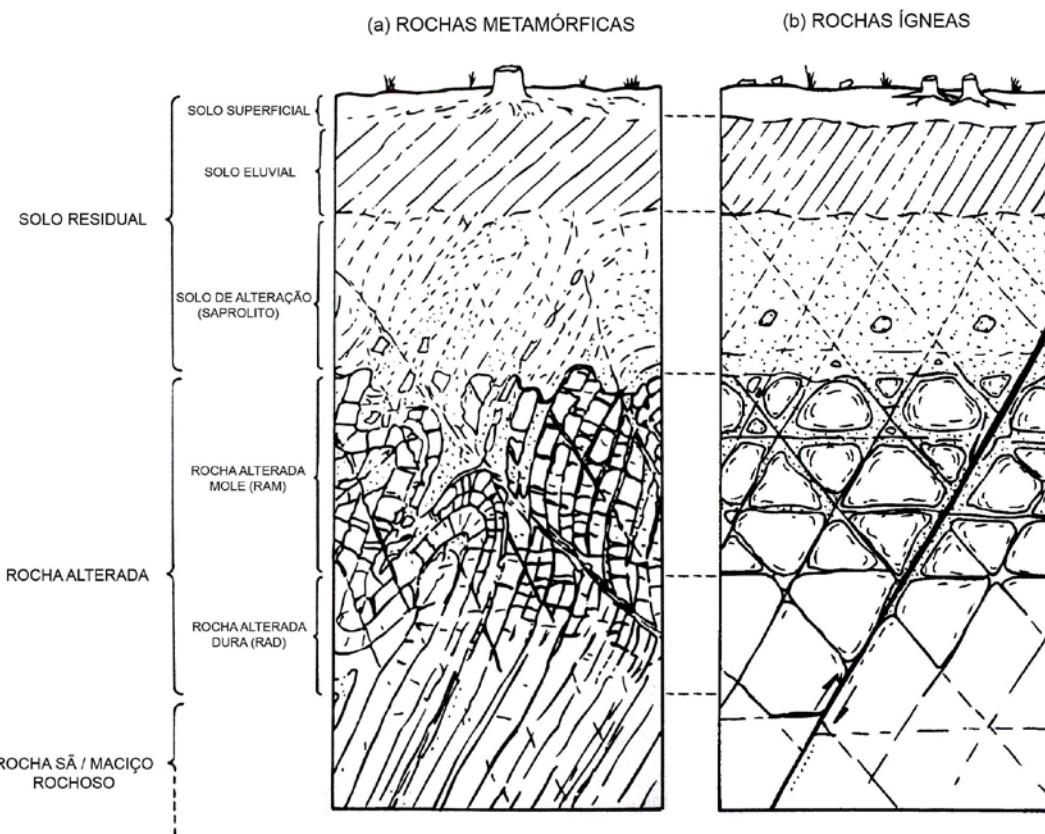


Figura 5 - Perfil de alteração de (a)rochas metamórficas e (b)rochas ígneas. Adaptado de Deere e Patton (1971) com classificações de Vaz (1996).

3.3. Técnicas de Investigação

Para a coleta de dados relativos a solos residuais são utilizadas geralmente técnicas de sondagens a trado ou a percussão, dependendo da profundidade e/ou dureza/compacidade do solo em questão.

3.3.1. Sondagem a trado

A sondagem a trado é um tipo de perfuração manual de pequeno diâmetro, feita para investigação de solo de baixa a média resistência. É constituído geralmente por uma concha metálica dupla ou espiral que perfura o solo enquanto armazena o material perfurado (Souza et al. 1998).

A coleta de amostras é feita a cada metro ou quando há mudança de material, buscando identificar mudanças de horizontes pedológicos ou geológicos.

Normalmente é a técnica empregada em estudos de áreas de empréstimo e subleitos de rodovia.

3.3.2. Sondagem a Percussão

A sondagem a percussão é a técnica mais comum de investigação do subsolo, principalmente em países como o Brasil onde o intenso intemperismo cria espessas coberturas de solo sobre o maciço.

O diâmetro normal é de 2,5" e sua profundidade é condicionada pelos critérios do projetista ou por camadas muito resistentes como transição solo-rocha, matacões, seixos ou cascalhos de diâmetro grande (Souza et al. 1998).

Acima do nível d'água, é utilizado trado espiral e, ao atingir tal nível, inicia-se o uso de trépano e circulação d'água (lavagem).

A coleta de amostras é feita a cada metro, obtidas pelo barrilete amostrador, entre os ensaios de SPT, seja por trado ou por lavagem. As amostras são guardadas em recipientes ríjos para a manutenção da umidade natural e das estruturas geológicas de cada uma.

3.3.3. Ensaio SPT

O ensaio SPT (Standard Penetration Test) é feito a cada metro de perfuração. Trata-se da cravação de um barrilete no fundo do furo através do impacto de uma massa metálica de 65kg em queda livre a partir de 75cm de altura do topo das hastas (Fig. 6) segundo a norma NBR 6484 da ABNT.

O resultado do ensaio é o número de golpes necessários para que o barrilete penetre os últimos 30cm de um total de 45cm. São feitas anotações do número de golpes de 15 em 15cm.

A recomendação da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental) é que sejam feitos os 45cm totais em cada ensaio ou que se encerre-o caso a penetração seja menor que 5cm após 10 golpes consecutivos, o que pode caracterizar uma transição solo-rocha, matacão, ou mesmo um nível de dureza/compacidade muito grande do material. Em casos como este último, é comum a realização do ensaio de lavagem por tempo, que consiste na operação do conjunto de trépano e hasteamento com quedas livres de 30cm, em intervalos regulares, durante 10 minutos. Repete-se o processo mais duas vezes, totalizando 30 minutos. Caso o avanço não seja significativo, a sondagem a percussão é interrompida. Se necessário, pode ser continuada com o uso de sondagem rotativa.

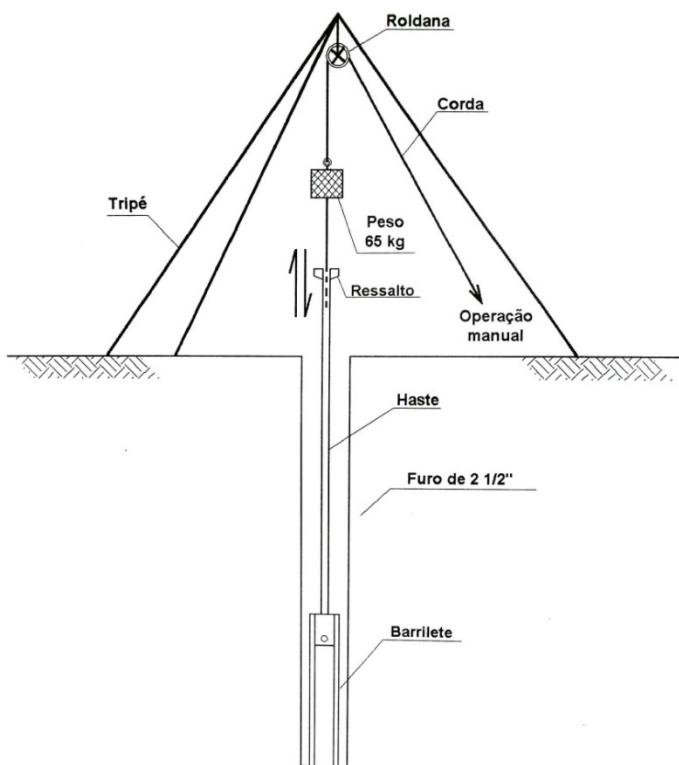


Figura 6 – Sondagem a percussão: ensaio SPT. Retirado de Souza et al. 1998.

3.4. Ensaios de Laboratório: Analise granulométrica e Limites de Atterberg

Por fim, trataremos neste trabalho dos ensaios de laboratório para determinação de limites de liquidez e plasticidade (Limites de Atterberg), definidos por Atterberg (1911), e caracterização granulométrica por peneiramento e sedimentação. Esses ensaios são realizados sob normas padronizadas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e foram introduzidos por Casagrande (1932a). Os ensaios de caracterização granulométrica referem-se às normas NBR 6457 (Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização) e NBR 7181 (Solo – Análise granulométrica), e os ensaios de determinação dos limites de Atterberg, aos NBR 6457, NBR 6459 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e NBR 7180 (Solo – Determinação do limite de plasticidade).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram tabelados os dados obtidos nos ensaios de granulometria e de limites de Atterberg – a seguir detalhados – de forma a sistematizá-los para facilitar sua interpretação. As tabelas criadas encontram-se na seção de anexos deste trabalho. Com elas foram criados gráficos para obtenção de curvas de granulometria e cartas de plasticidade.

As curvas de granulometria foram diferenciadas quanto às cotas e litologias, na tentativa de obter padrões quanto às mesmas.

Os dados do Complexo Embu foram relacionados para comparação entre as três linhas.

Ao todo, foram utilizados dados de ensaios de 156 amostras de solo, relacionados a um total de 65 sondagens. Desses, foram 38 sondagens e 96 amostras do Complexo Embu e 27 sondagens e 60 amostras do Maciço Cantareira.

Podendo haver mais de um tipo de ensaio por amostra, os dados fornecidos foram de 40 ensaios de limites de Atterberg e 27 de granulometria para o Maciço Cantareira, enquanto que para o Complexo Embu, 56 e 90 respectivamente.

4.1. Localização dos Dados

4.1.1. Linha 4 – Amarela

A conclusão de todas as estações desta linha deverá acontecer até o fim de 2014. É a linha que ligará o Centro à extrema Zona Oeste passando por Jardim Paulista, Butantã, Morumbi e Vila Sônia (Figura 7).

Toda a obra está sendo feita dentro do contexto de embasamento do Complexo Embu, algumas vezes recoberto por sedimentos terciários e quaternários. A Figura 8 mostra o traçado real da Linha 4 no qual foram realizadas as sondagens utilizadas neste trabalho.

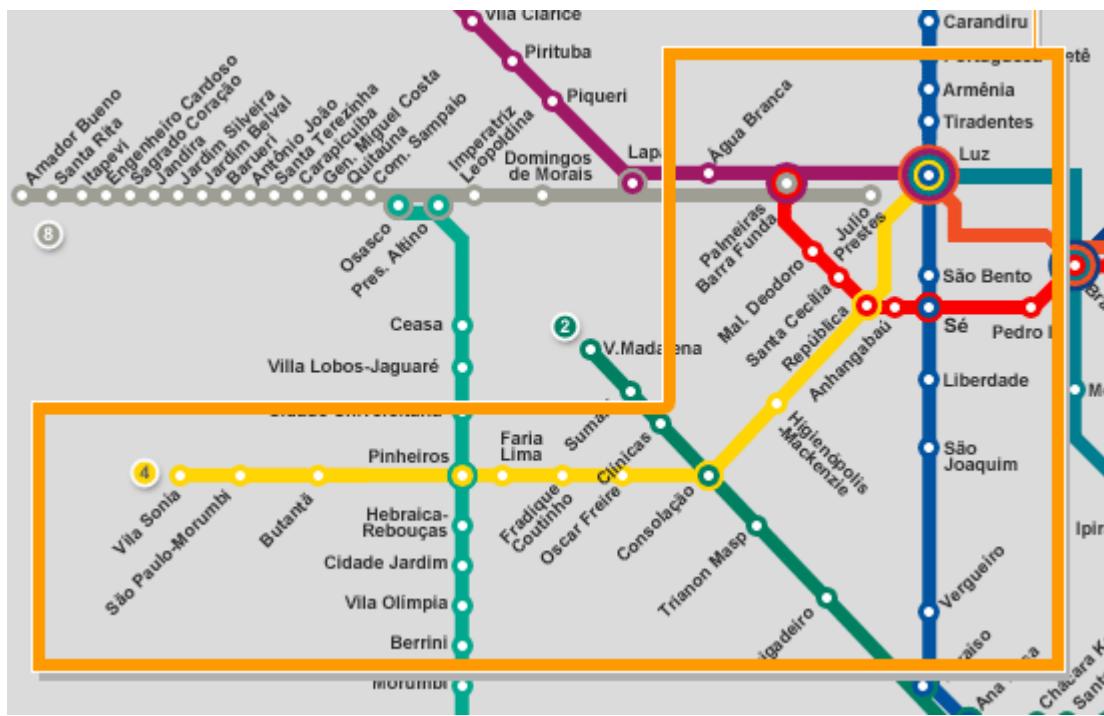


Figura 7 – Linha 4 em destaque no mapa esquemático do Metrô

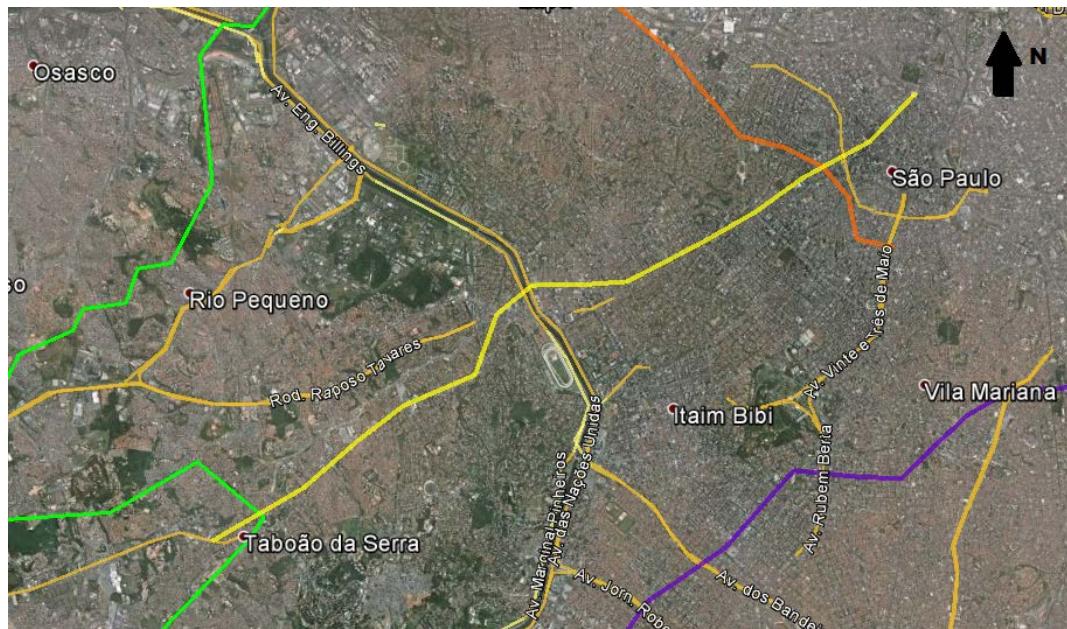


Figura 8 – Linha 4 em destaque. As sondagens foram coletadas ao longo de todo o percurso.

4.1.2. Linha 5 – Lilás

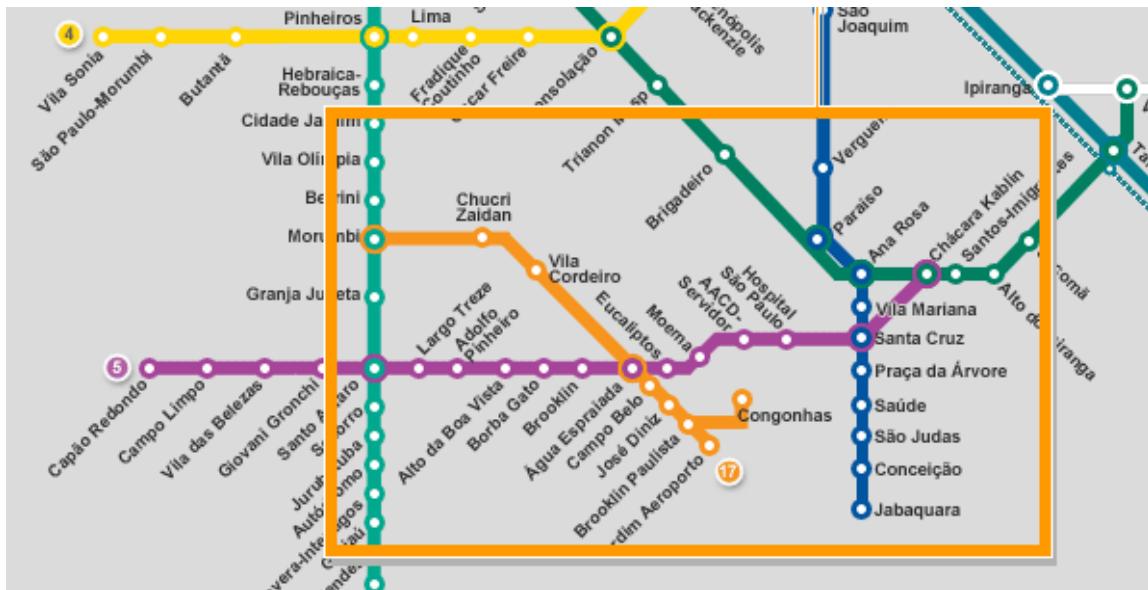


Figura 9 – Parte restante da Linha 5 com previsão para 2015 em destaque no mapa esquemático do Metrô

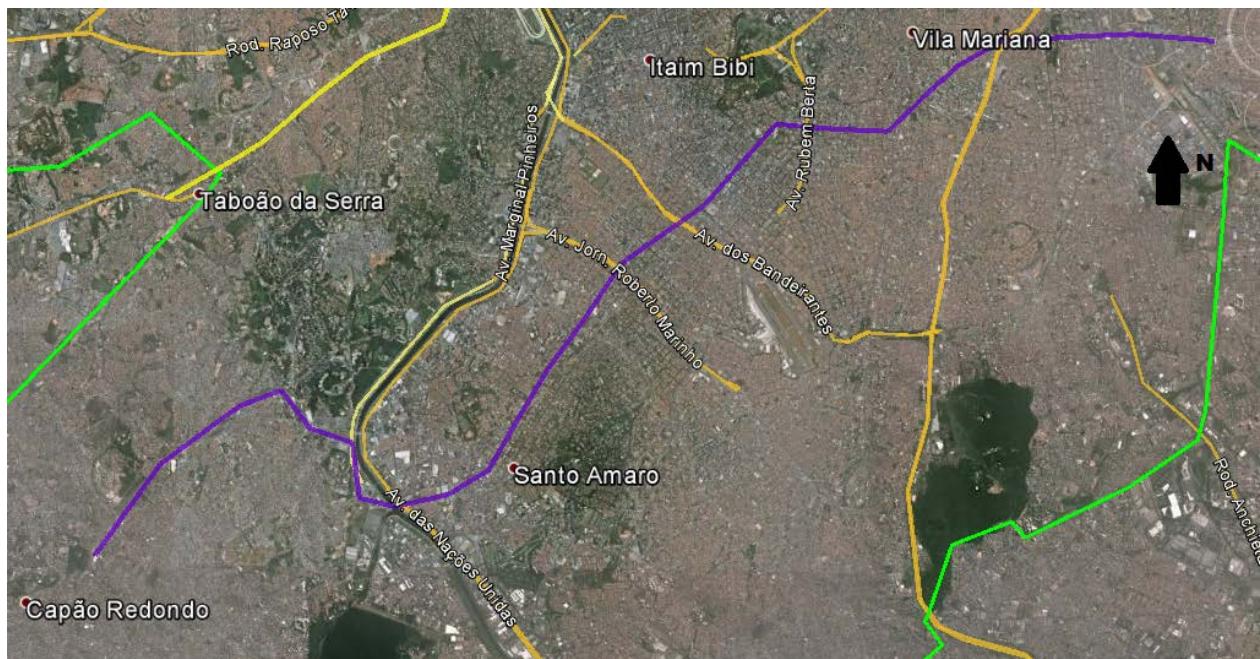


Figura 10 – Traçado real da Linha 5 no qual foram realizadas as coletas de amostras

A conclusão da Linha Lilás está prevista para 2015. Fará a interligação do Capão Redondo à Chácara Klabin, atravessando a Zona Sul de São Paulo e passando por Santo Amaro, Brooklin, Moema e Saúde.

Assim como a Linha 4, insere-se totalmente no contexto do Complexo Embu e suas rochas metamórficas.

O traçado real da Linha 5 no qual foram realizadas as sondagens para coletas de amostras utilizadas neste trabalho encontra-se na Figura 10.

4.1.3. Linha 6 – Laranja

Esta linha atravessa as duas litologias aqui estudadas. Todas as sondagens a norte do rio Tietê se relacionam ao Maciço Cantareira, enquanto que a sul estão as sondagens dentro do Complexo Embu (Figura 11).

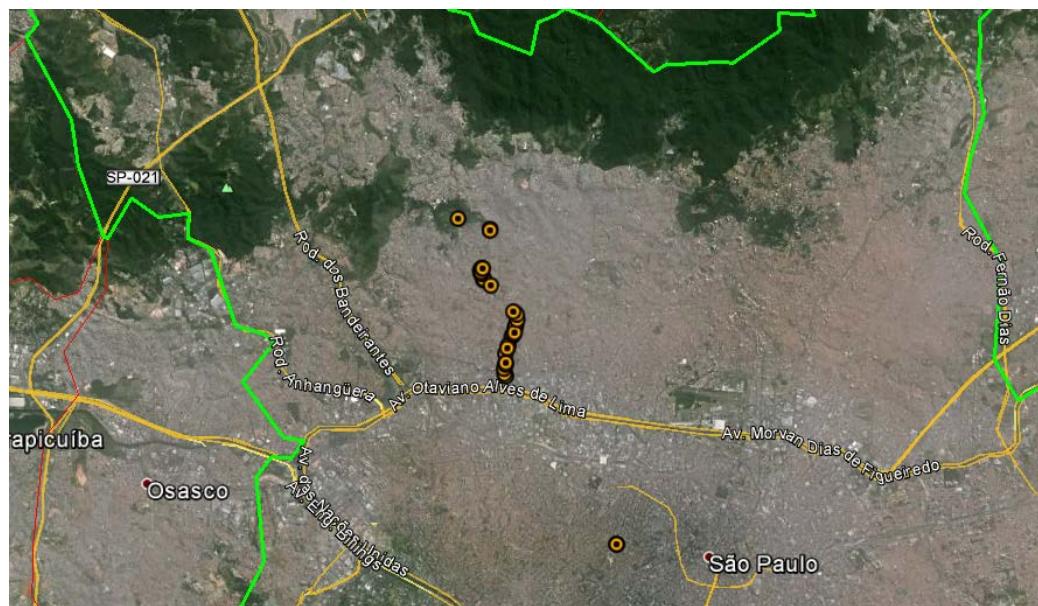


Figura 11 – Sondagens da Linha 6 utilizadas neste trabalho. Em verde, limite municipal de São Paulo.

Está prevista sua conclusão para o ano de 2017 e ligará o noroeste da cidade de São Paulo à Zona Sul, saindo de Brasilândia e passando por Freguesia do Ó, Perdizes e Pacaembu até chegar à região da Bela Vista (Figura 12).

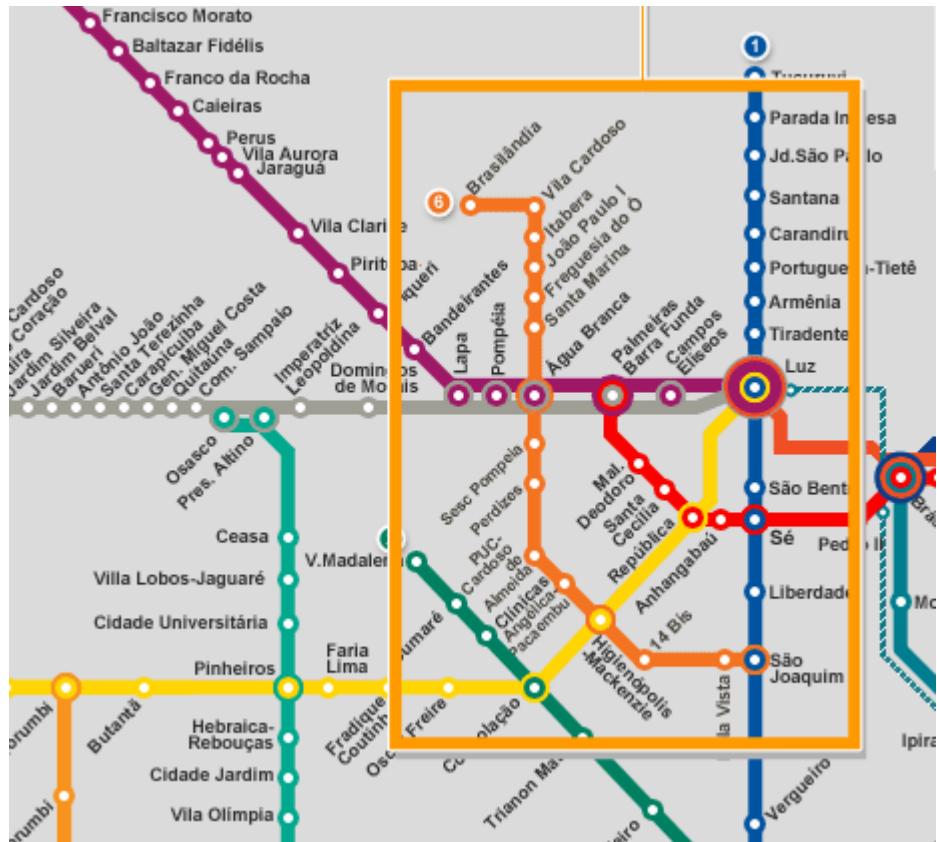


Figura 12 – Mapa esquemático do Metrô com a Linha 6 laranja.

4.2. Análise Granulométrica

Este tipo de ensaio é feito para o reconhecimento da quantidade de cada uma das frações granulométricas de um solo e consiste de duas fases: o peneiramento e a sedimentação (Pinto, 2006).

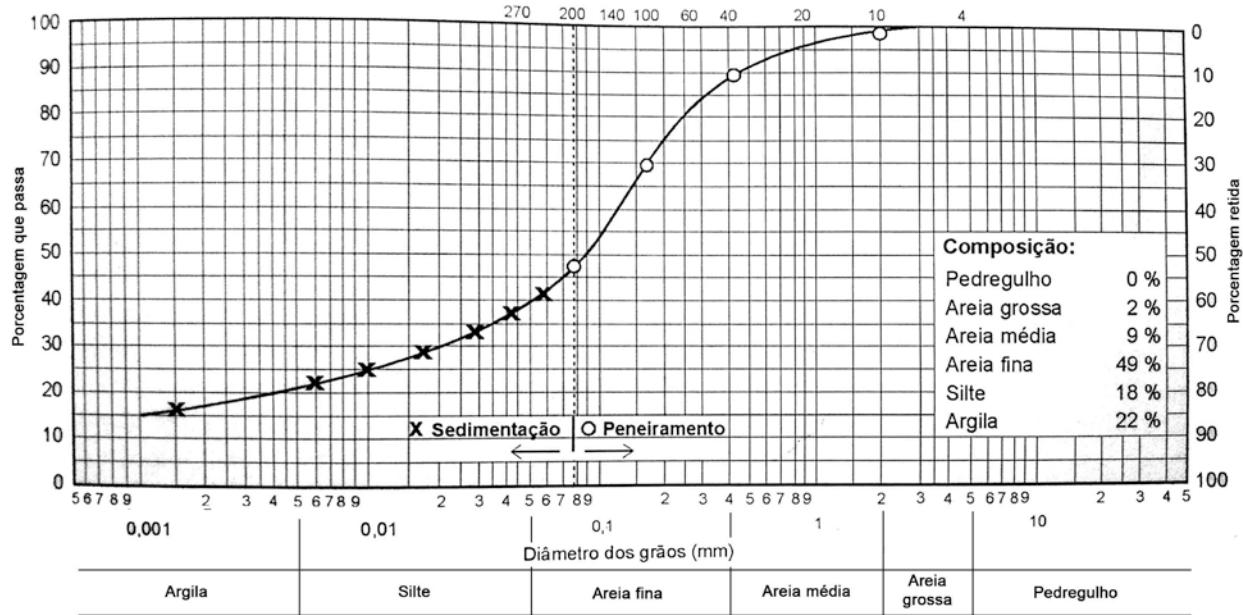


Figura 13 – Exemplo de curva de distribuição granulométrica de solo. Retirada de Pinto (2006).

O peneiramento limita-se à abertura da malha das peneiras, que deve ser maior que o diâmetro de interesse. O processo é simples e realizado com uma série de peneiras com aberturas cada vez menores, nas quais se mede o peso total das partículas que ficaram retidas em cada nível. A peneira de menor abertura comumente empregada é a nº200 (abertura de 0,075mm).

Para a porção mais fina do solo – silte e argila – é necessária a técnica de sedimentação. Essa técnica baseia-se na velocidade de queda das partículas do solo em um fluido, que depende de seu peso específico e de seu diâmetro. Partículas maiores e mais pesadas tendem a sedimentar mais rapidamente e ocupar o fundo do recipiente de ensaio. Com o auxílio de um densímetro, são feitas medidas de densidade de suspensão, calculados os diâmetros equivalentes de cada faixa e então plotados em um gráfico como o da Figura 13.

Solos de mesma origem tendem a ter curvas parecidas entre si, obviamente com variações. A Figura 14 mostra algumas curvas que seriam esperadas para solos originados de diferentes situações e rochas.

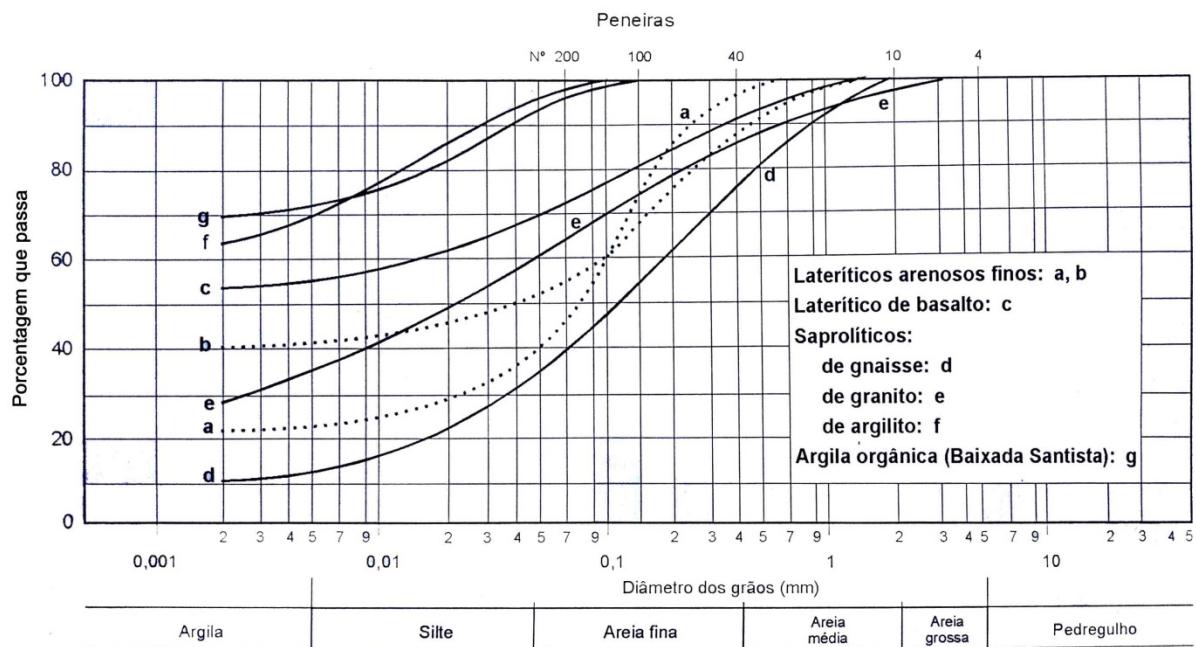


Figura 14 – Exemplo de curvas de granulometria de alguns solos brasileiros. Retirado de Pinto (2006).

4.3. Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg são determinados por ensaios e índices propostos pelo engenheiro químico que deu o nome aos mesmos. Baseiam-se no comportamento do solo na presença de água, de acordo com a porcentagem de fração argila nele contida.

Solos argilosos quando muito úmidos comportam-se como líquidos, quando parcialmente úmidos tem comportamento plástico e quando secos tem comportamento quebradiço.

Os teores de umidade correspondentes às mudanças desses comportamentos são chamados de Limite de Liquidez (LL) na interface de comportamento líquido-plástico e Limite de Plasticidade (LP) na interface plástico-quebradiço. O Índice de Plasticidade (IP) é a diferença entre o LL e o LP.

O Limite de Liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar numa concha (Pinto, 2006) após sucessivos golpes da base da concha contra uma superfície plana (ABNT NBR 6459).

O Limite de Plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual é possível moldar-se um cilindro de 3mm de diâmetro, rolando entre as palmas das mãos (ABNT NBR 7180).

Solos	LL%	IP%
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residual de gnaisse	45-55	20-25
Residual de basalto	45-70	20-30
Residual de granito	45-55	14-18

Tabela 1 – Índices de Atterberg de alguns solos residuais brasileiros. Retirado e modificado de Pinto (2006)

Para estudo, os dados de limites de Atterberg foram usados em cartas de plasticidade. Essas cartas são elaboradas plotando-se os valores de Limites de Liquidez (LL) em função do Índice de Plasticidade (IP).

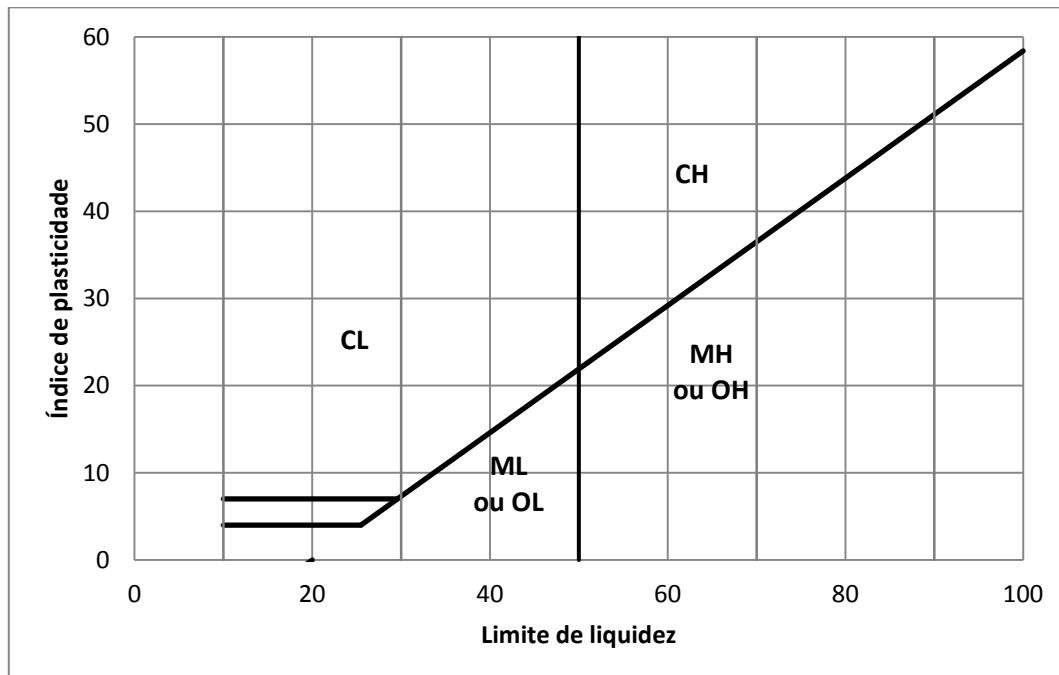


Gráfico 1 – Carta de plasticidade de Casagrande

No Gráfico 1, está representada a carta de plasticidade proposta por Casagrande. Solos com LL acima de 50% são tidos como de alta compressibilidade (H), enquanto que abaixo desse valor são de baixa compressibilidade (L).

Aqueles dados que estiverem abaixo da reta inclinada são interpretados como solos siltosos (M) ou orgânicos (O). Já os que estiverem acima da reta inclinada, são solos argilosos (C).

5. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

5.1. Cartas de Plasticidade

5.1.1. Complexo Embu

Os dados de limites de Atterberg do Complexo Embu se baseiam basicamente nos ensaios executados em amostras da Linha 4 do Metrô, com alguns poucos dados das linhas 5 e 6. Como já explicado, são rochas metamórficas, em sua maioria gnaisses. A carta de plasticidade das três linhas encontra-se adiante no Gráfico 2.

Apesar dos dados das linhas 5 e 6 não serem numerosos, nota-se boa diferença entre as três. Dados da Linha 4 se concentram de maneira importante no setor de ML, ou seja, solos siltosos de baixa compressibilidade, portanto de baixo IP.

A Linha 5 apresenta dados de solos siltosos a argilosos, que indicam baixa compressibilidade, porém com um único resultado fugindo à regra, de alta compressibilidade. Trata-se de um dado referente a uma amostra de solo coletado em baixa profundidade se comparado aos demais.

Já na Linha 6, verifica-se uma concentração de dados na região de solos argilosos de baixa compressibilidade (CL), porém muito próximos à região de siltes, o que permite classificá-los como solos CL/ML.

De uma maneira geral, são dados de solos em sua maioria siltosos e de baixa compressibilidade, porém sempre próximos à reta inclinada, o que sugere que há presença constante e importante de fração argila em meio aos finos dos solos derivados das rochas do Complexo Embu.

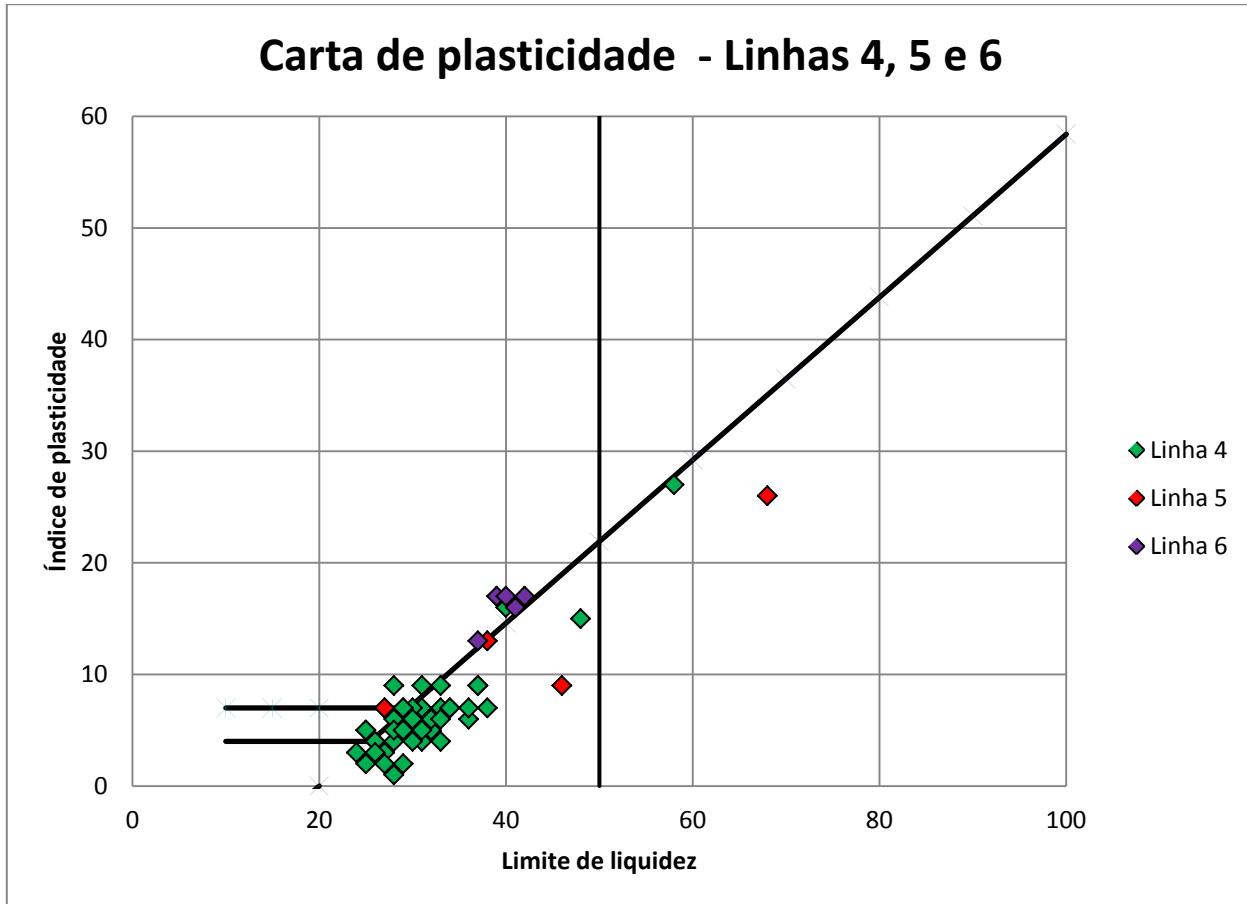


Gráfico 2 – Carta de plasticidade do Complexo Embu

5.1.2. Maciço Cantareira

O Maciço Cantareira está inserido somente no contexto da Linha 6 do metrô, mais especificamente no setor norte da mesma.

Por se tratar de um corpo intrusivo, espera-se que este seja relativamente mais homogêneo do que as rochas do Complexo Embu e é de se esperar poucas variações em suas características geotécnicas. Porém, ocorre o oposto no Gráfico 3, no qual está expressa a carta de plasticidade baseada em todos os dados do corpo granítico.

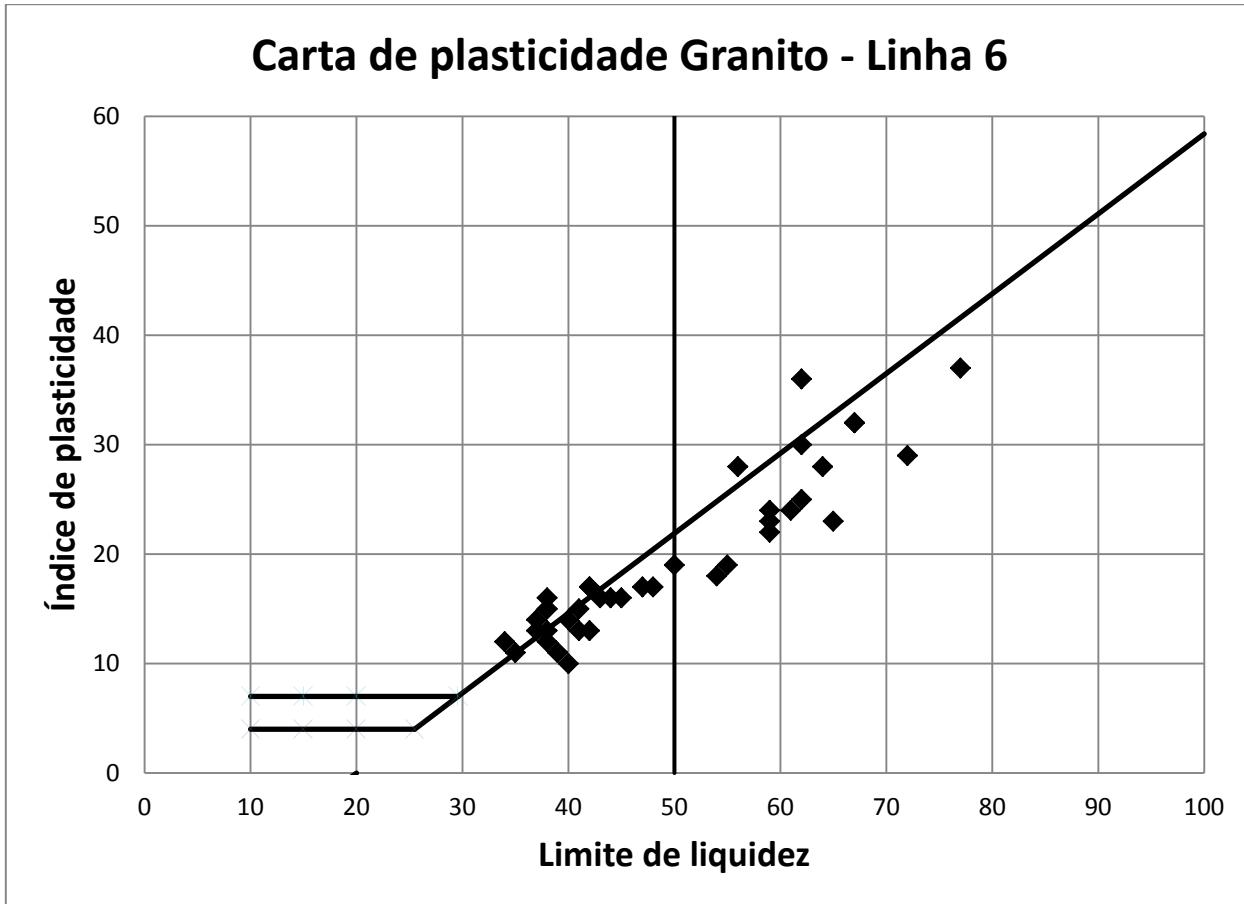


Gráfico 3 – Carta de plasticidade do Maciço Cantareira

Neste gráfico, nota-se que esse corpo intrusivo concentra seus valores no setor de solos siltosos. A variação importante se dá na compressibilidade que não se concentra num baixo ou alto, não tendo um padrão definido.

Porém, ao separarmos os dados por cotas, torna-se claro o fator que controla a compressibilidade. O Gráfico 4 mostra isso.

Com este novo critério, é clara a divisão entre as características de solos localizados em cotas acima e abaixo de valores ao redor de 765m de altitude na questão da compressibilidade. Solos residuais do Maciço Cantareira de cotas mais altas mostram valores cada vez de mais alta compressibilidade, enquanto que solos mais profundos mostram-se cada vez menos compressíveis.

Carta de plasticidade por cotas - Granito - Linha 6

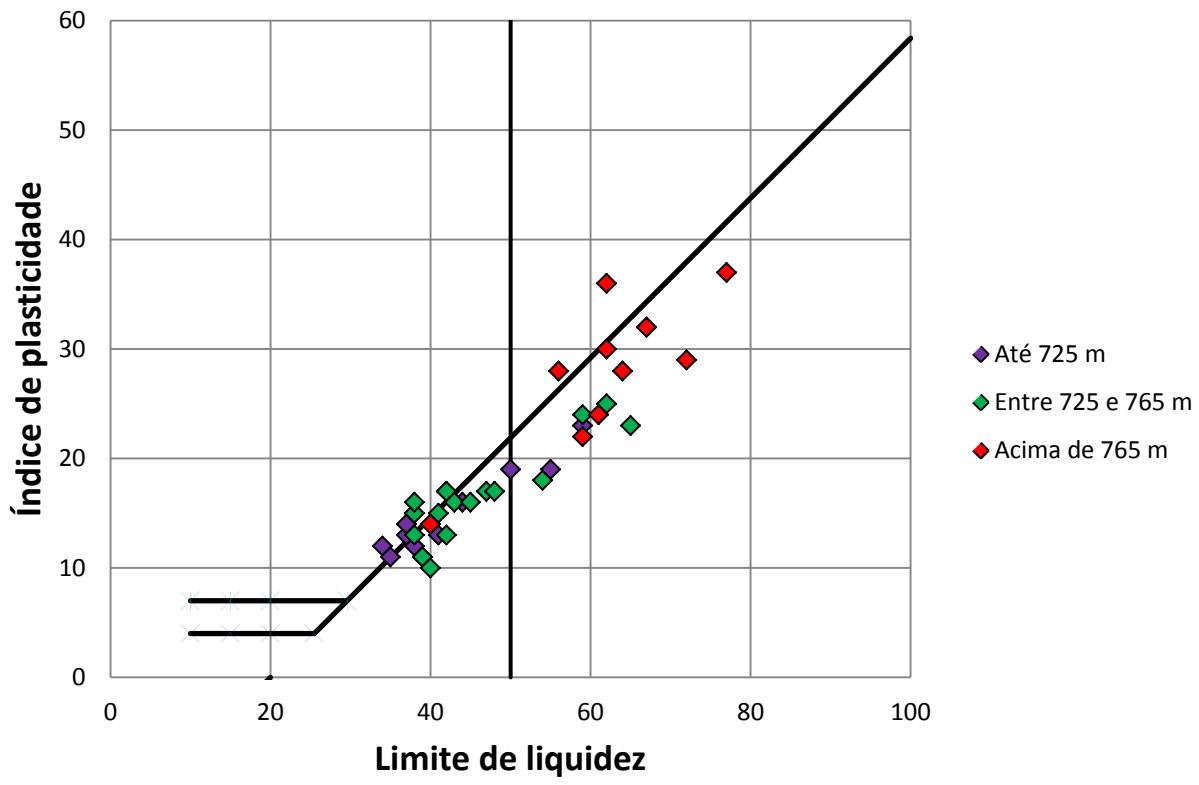


Gráfico 4 – Carta de plasticidade categorizada por cotas das amostras.

5.2. Curvas Granulométricas

5.2.1. Complexo Embu

O Complexo Embu compõe, como já dito antes, todos os solos residuais das linhas 4 e 5 e parte da Linha 6. A seguir, nos gráficos 5, 6 e 7, são apresentadas todas as curvas granulométricas das mesmas.

Curvas granulométricas - Linha 4

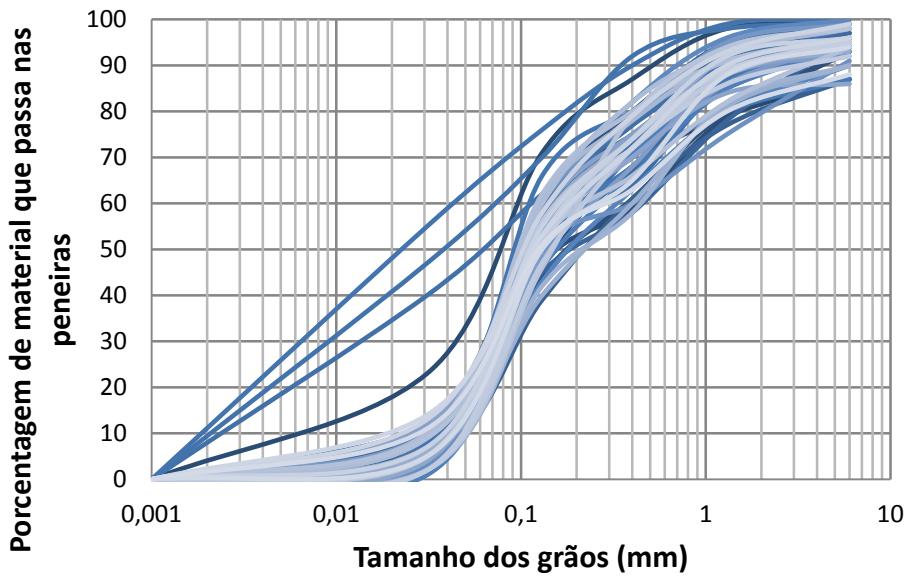


Gráfico 5 – Curvas granulométricas do Complexo Embu na Linha 4

Curvas granulométricas - Linha 5

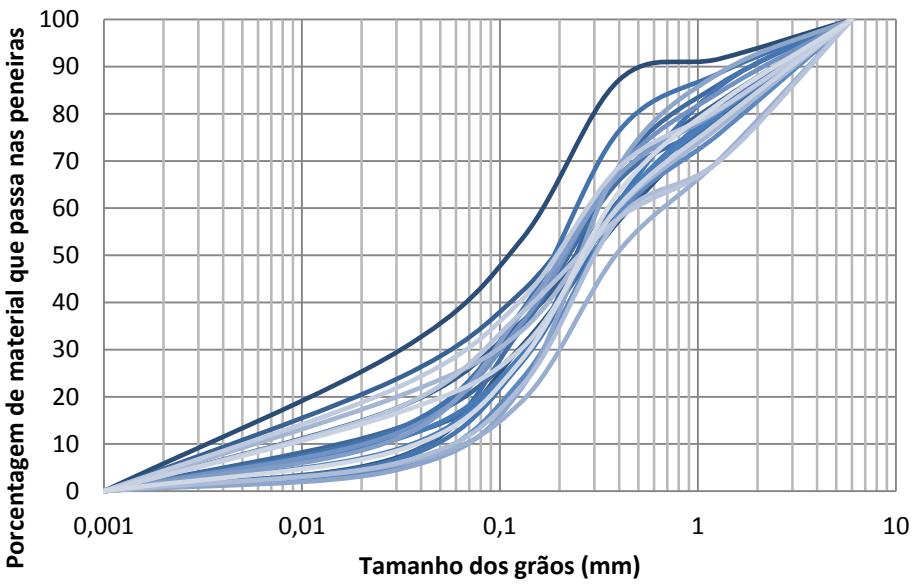


Gráfico 6 – Curvas granulométricas do Complexo Embu na Linha 5

Curvas granulométricas Complexo Embu- Linha 6

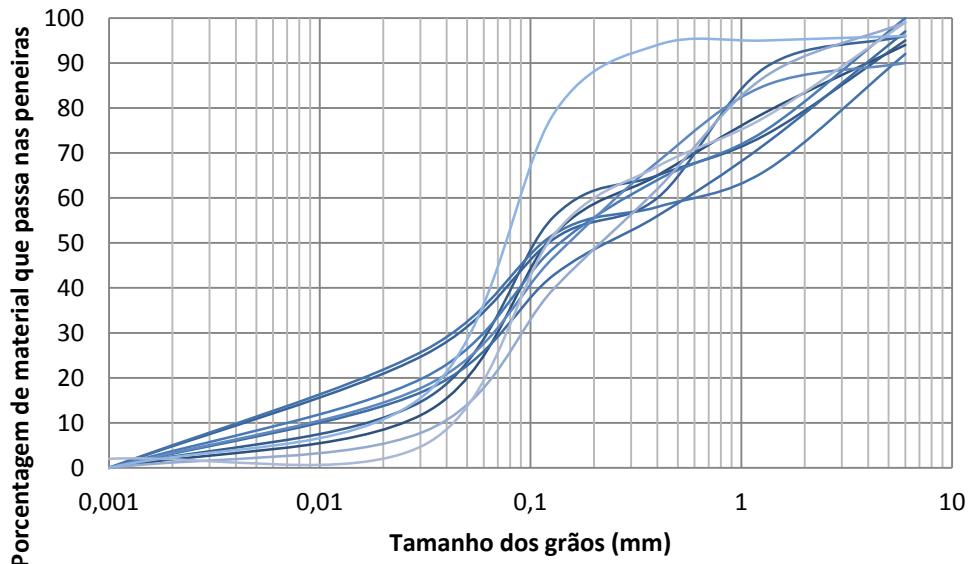


Gráfico 7 – Curvas granulométricas do Complexo Embu na Linha 6

No Gráfico 5, vemos que há três curvas fora do padrão observado no restante dos dados da Linha 4. Tratam-se de curvas relacionadas às amostras da sondagem SM-4066 e, como se tratam de dados muito diferentes dos demais, não serão considerados nos cálculos de médias e padrões da litologia.

Apesar dos três gráficos anteriores tratarem da mesma unidade geológica, vemos que há alguma diferença entre os três. Para deixar mais claro, foi plotado um gráfico com as médias de cada uma das linhas, o Gráfico 8.

Este gráfico mostra que a Linha 5 apresenta maior quantidade da fração areia fina, enquanto que não apresenta nenhuma amostra com pedregulhos.

Curvas granulométricas médias - Linhas 4, 5 e 6

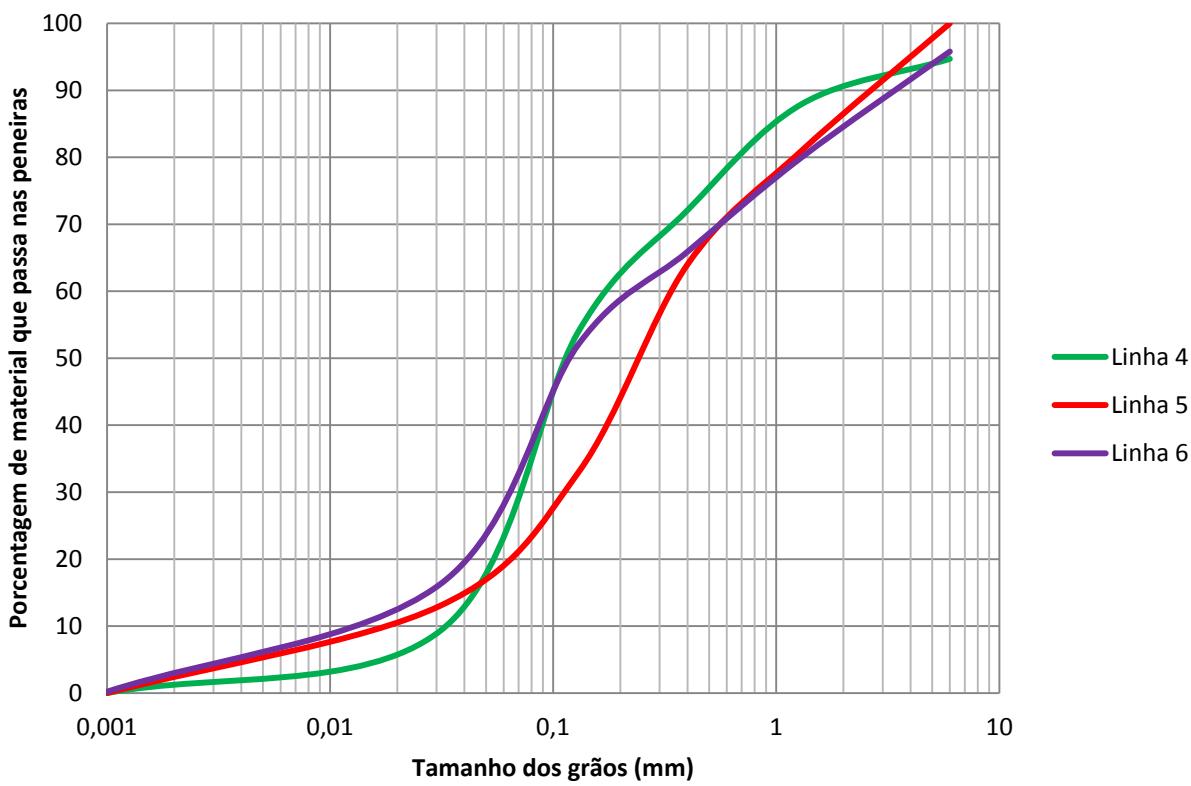


Gráfico 8 – Curvas granulométricas médias do Complexo Embu nas três linhas

A Linha 4 neste caso mostra alto teor de silte em comparação com a Linha 5 e presença de pedregulhos, enquanto que apresenta menor teor de areia.

Por fim, dados da Linha 6 mostram uma média de alto teor de argila e frações grossas em detrimento das frações de areia média e fina.

Mesmo com as pequenas variações entre os dados relativos a cada uma das linhas é possível a obtenção de uma média geral para os solos do Complexo Embu, apresentada no Gráfico 9, que o caracteriza de uma forma geral como formador de solos residuais siltosos a arenosos com pouca argila e pedregulhos.

Curva granulométrica média - Linhas 4, 5 e 6

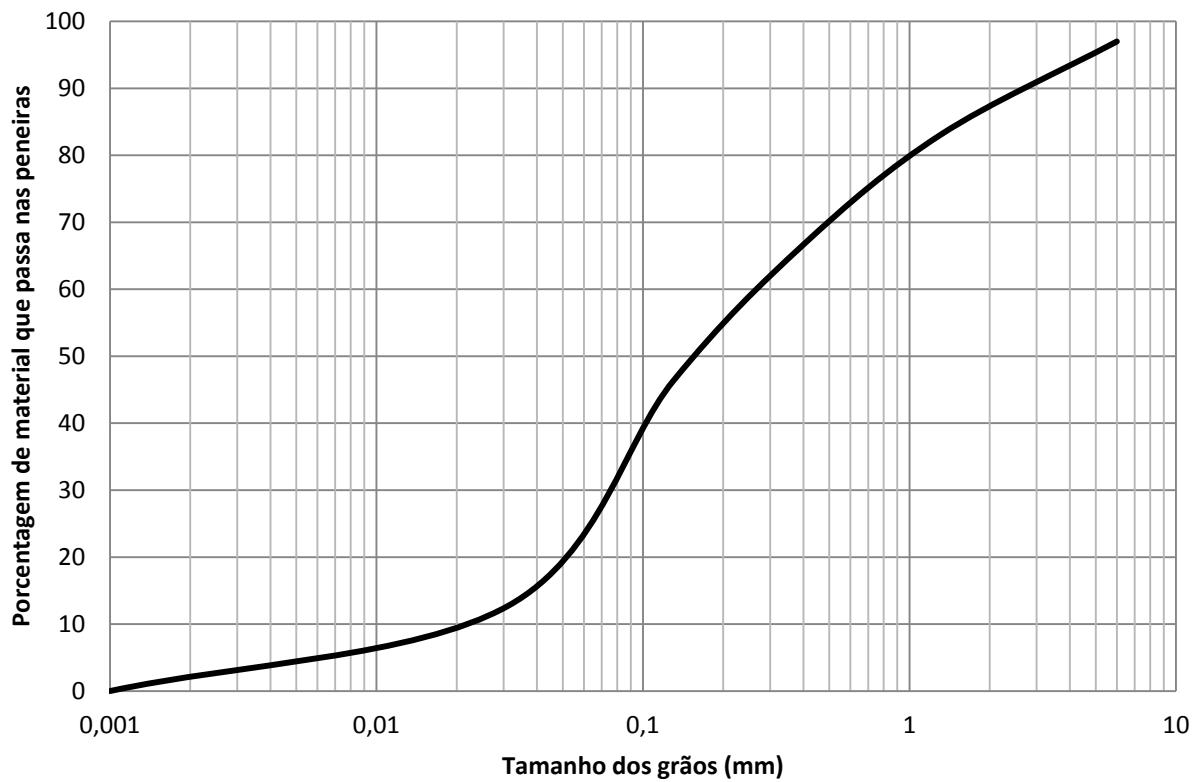


Gráfico 9 – Curva granulométrica média do Complexo Embu entre as três linhas

Assim como no item anterior, foi feita tentativa de caracterização granulométrica quanto à cota, porém não houve diferenças que pudessem levar uma interpretação de comportamento padrão dos solos nessa questão.

5.2.2. Maciço Cantareira

O Gráfico 10 mostra a distribuição das curvas granulométricas referentes a amostras analisadas do Maciço Cantareira. Nele, vemos que há boa amplitude de variação da granulometria. O Gráfico 11 mostra a média obtida dos ensaios.

Curvas granulométricas Granito - Linha 6

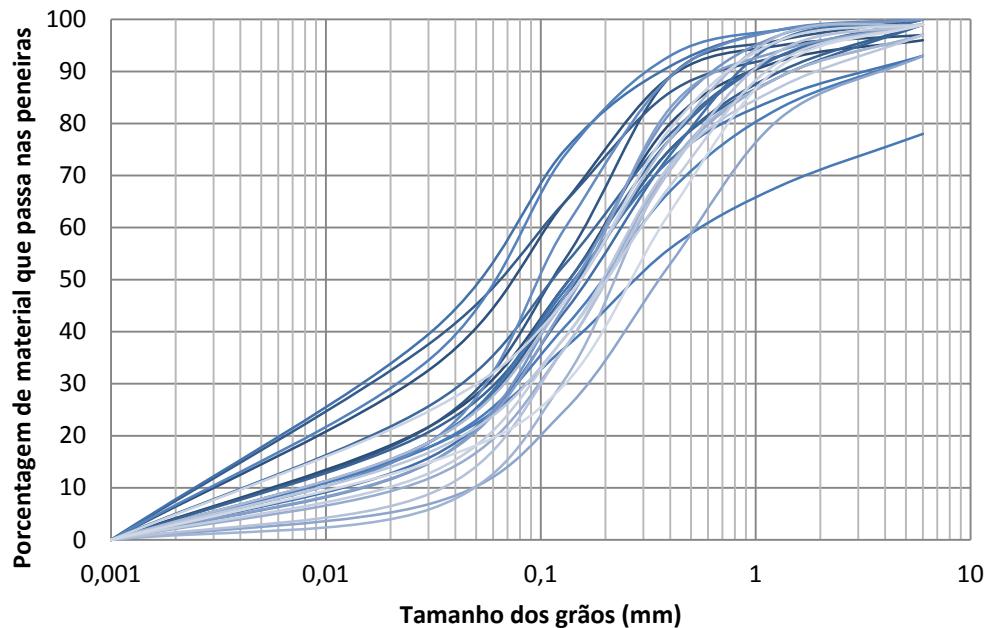


Gráfico 10 – Curvas granulométricas do Maciço Cantareira

Curva granulométrica média Granito - Linha 6

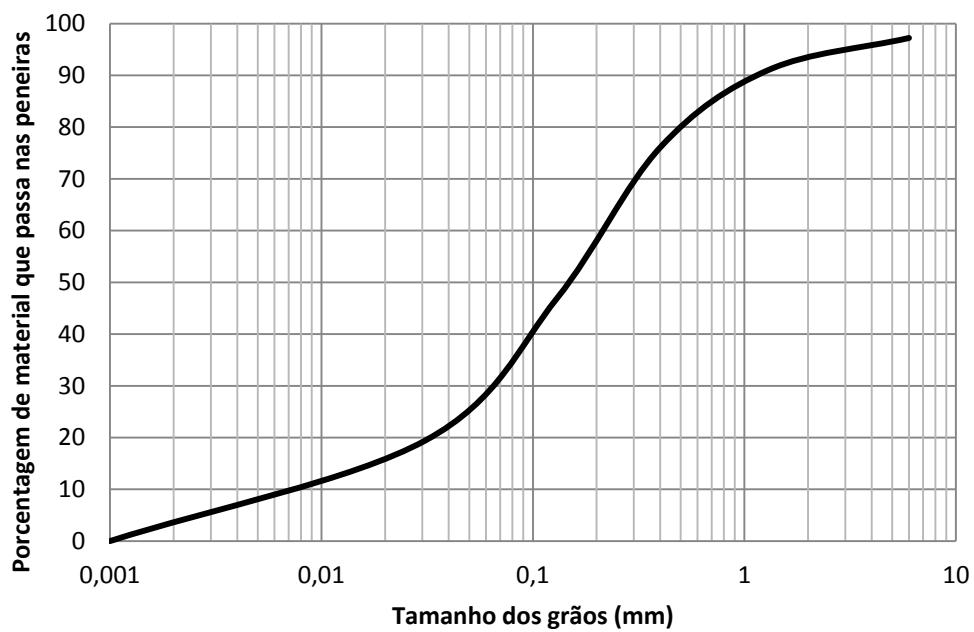


Gráfico 11 – Curva granulométrica média do Maciço Cantareira

Novamente para os dados do Maciço Cantareira, a divisão de acordo com as cotas topográficas mostra uma importante diferença.

Como pode ser visto no Gráfico 12, os solos de cotas mais baixas (até 725m) tem como característica um teor muito maior de fração areia em relação aos solos de maior altitude. Mais importante ainda é notar que o teor de finos aumenta de forma gradativa e diretamente proporcional à altitude, à medida que o teor de solos arenosos cai na mesma proporção, já que os pedregulhos pouco se alteram.

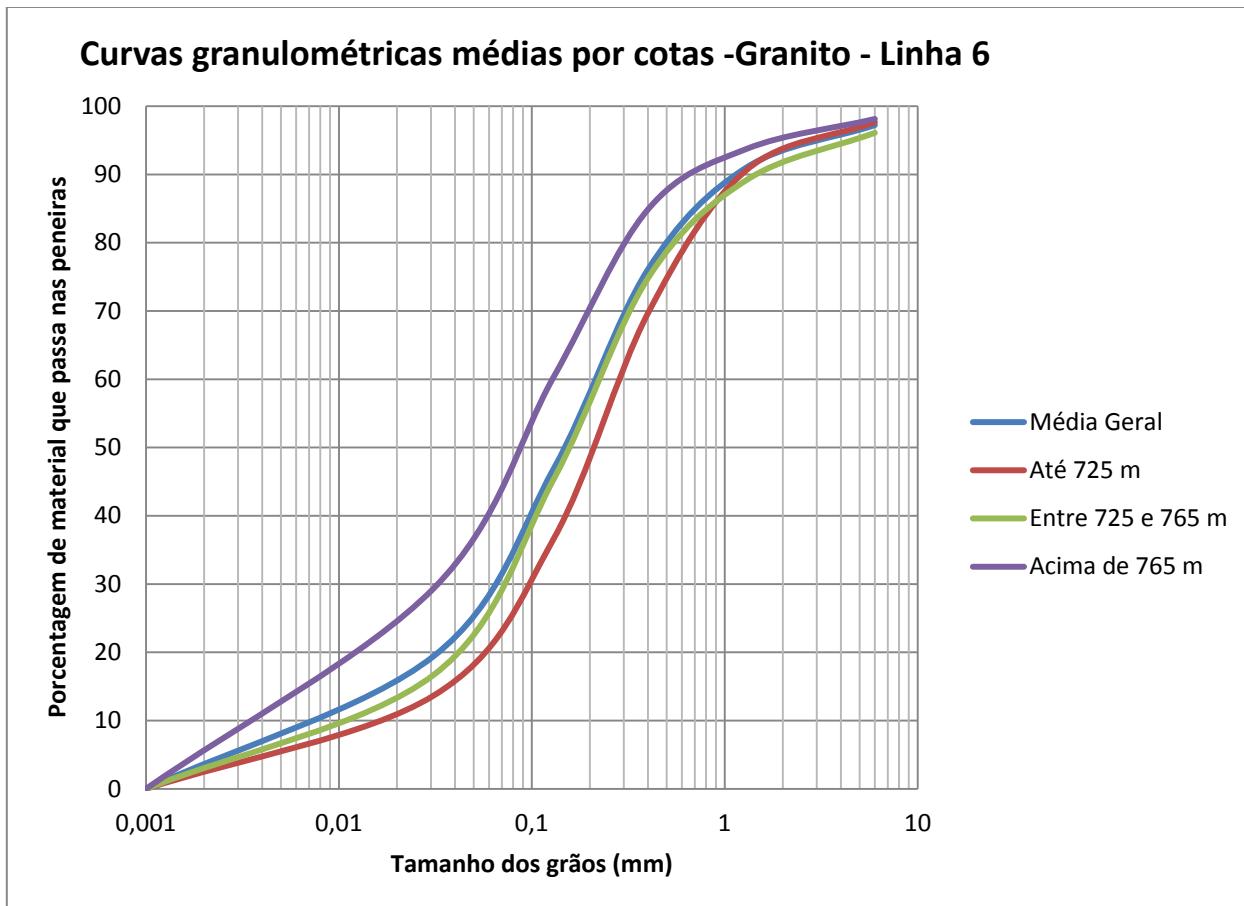


Gráfico 12 – Curvas médias de acordo com cotas topográficas

5.3. Relação de granulometria quanto à cota topográfica

Buscando evidenciar os padrões e diferenças granulométricas dentro de cada litologia, foram plotados gráficos de granulometria versus cotas topográficas.

5.3.1. Complexo Embu

Como visto no item 5.2.1, há pequenas diferenças entre as granulometrias obtidas dentro do Complexo Embu nas linhas 4, 5 e 6. Não serão feitas comparações da Linha 6 pois não há quantidade significativa de dados na mesma para uma avaliação válida.

5.3.1.1. Linha 4

Os gráficos 13 a 19 mostram a quantidade de cada fração granulométrica de acordo com as respectivas cotas topográficas. Foram traçadas retas médias em vermelho para melhor visualização da variação de cada fração de solo ao longo das cotas.

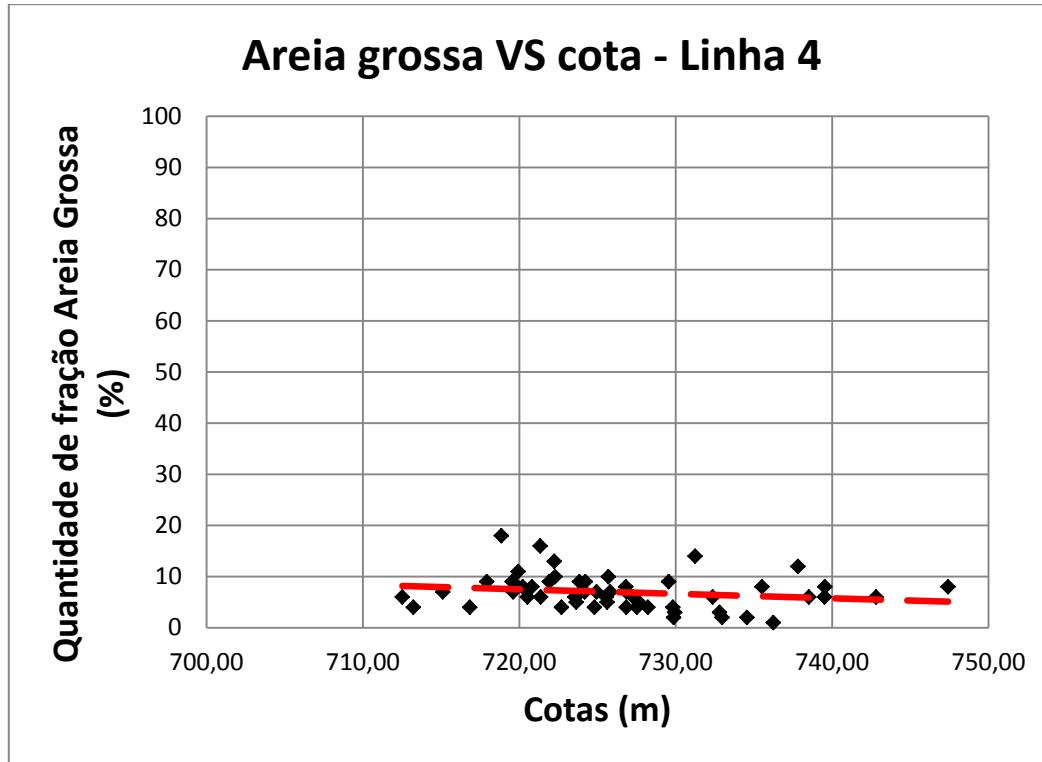


Gráfico 13

Areia média VS cota - Linha 4

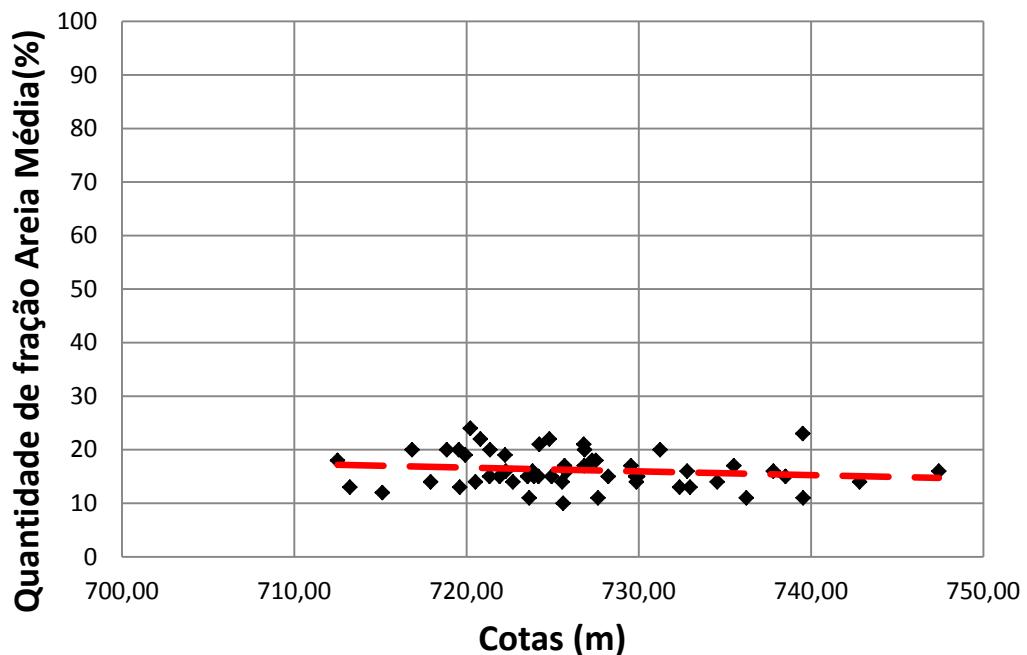


Gráfico 14

Areia fina VS cota - Linha 4

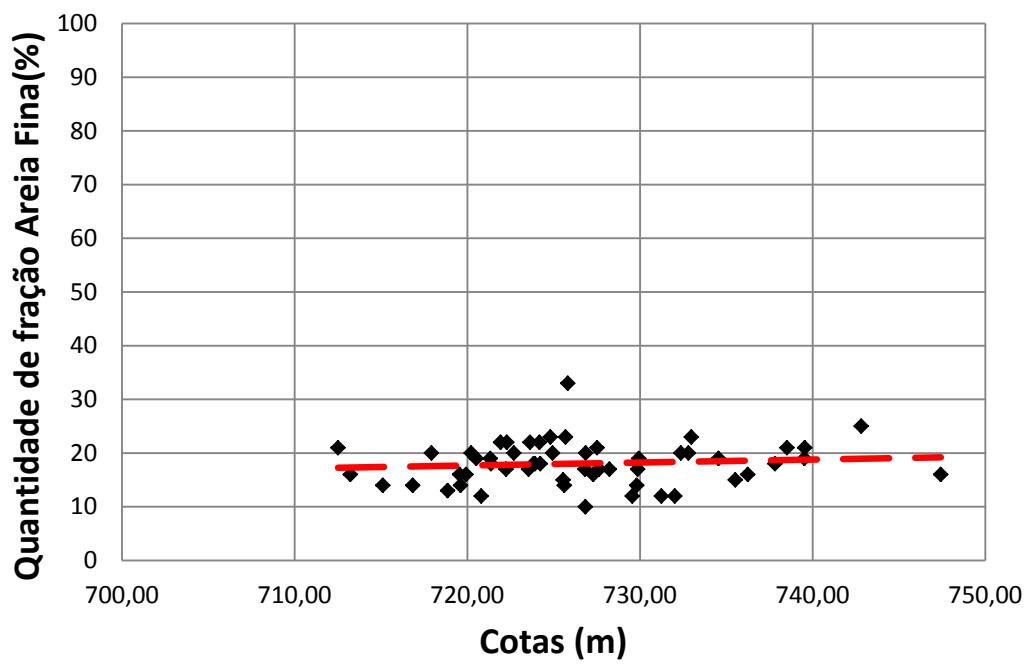


Gráfico 15

Silte VS cota - Linha 4

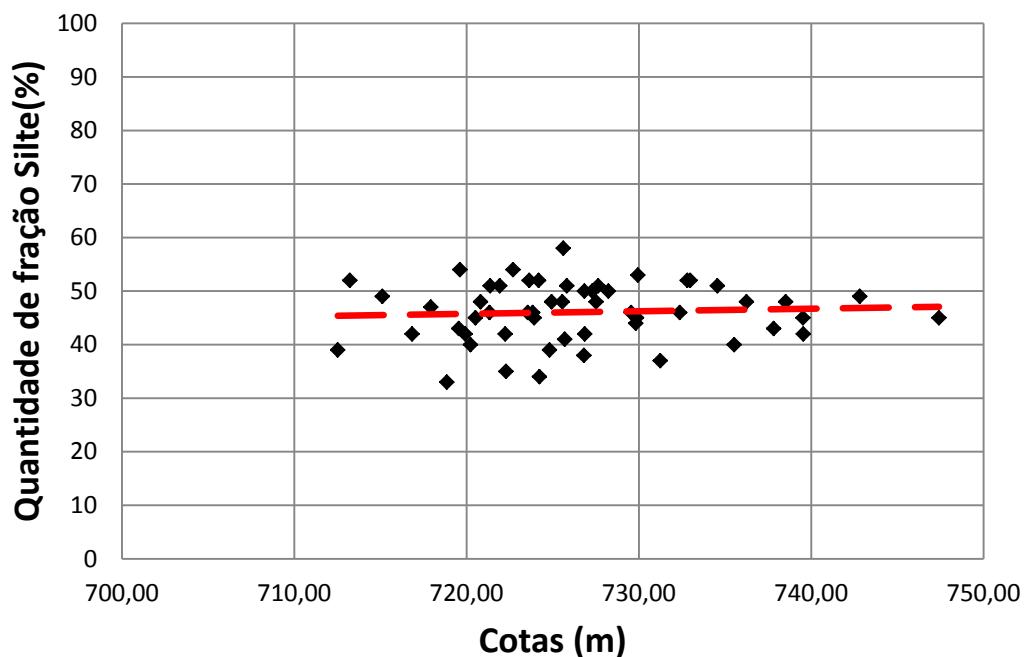


Gráfico 16

Argila VS cota - Linha 4

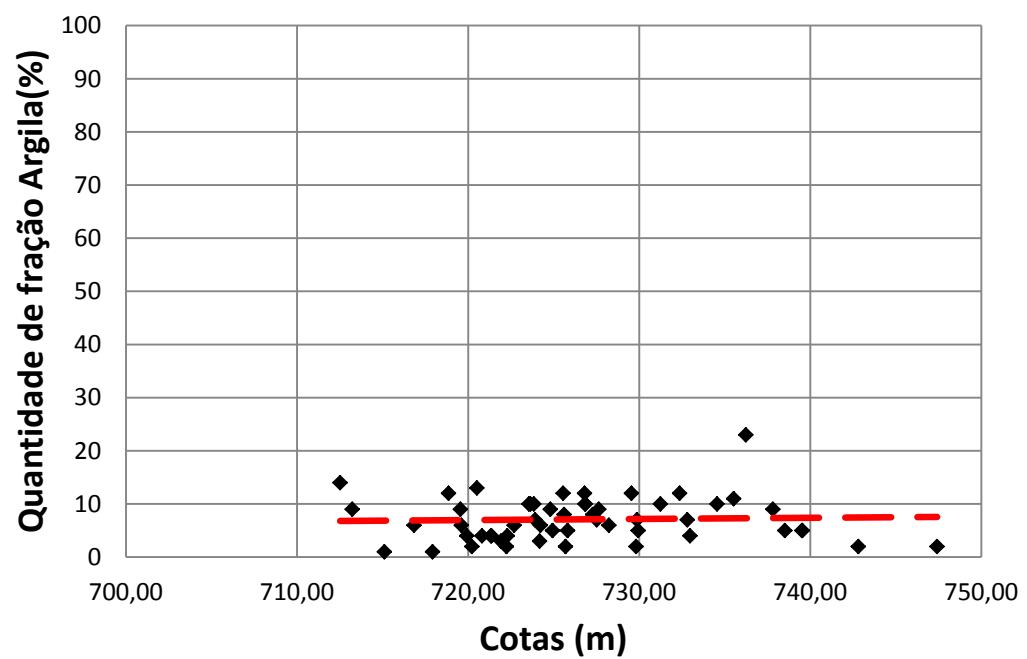


Gráfico 17

Total de areia VS cota - Linha 4

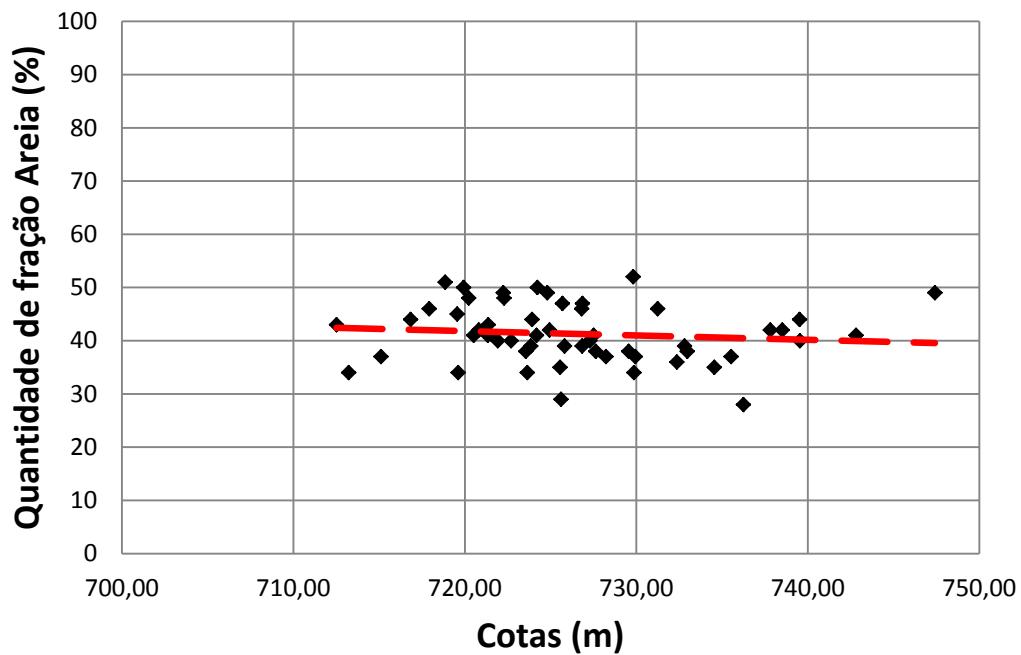


Gráfico 18

Finos VS cota - Linha 4

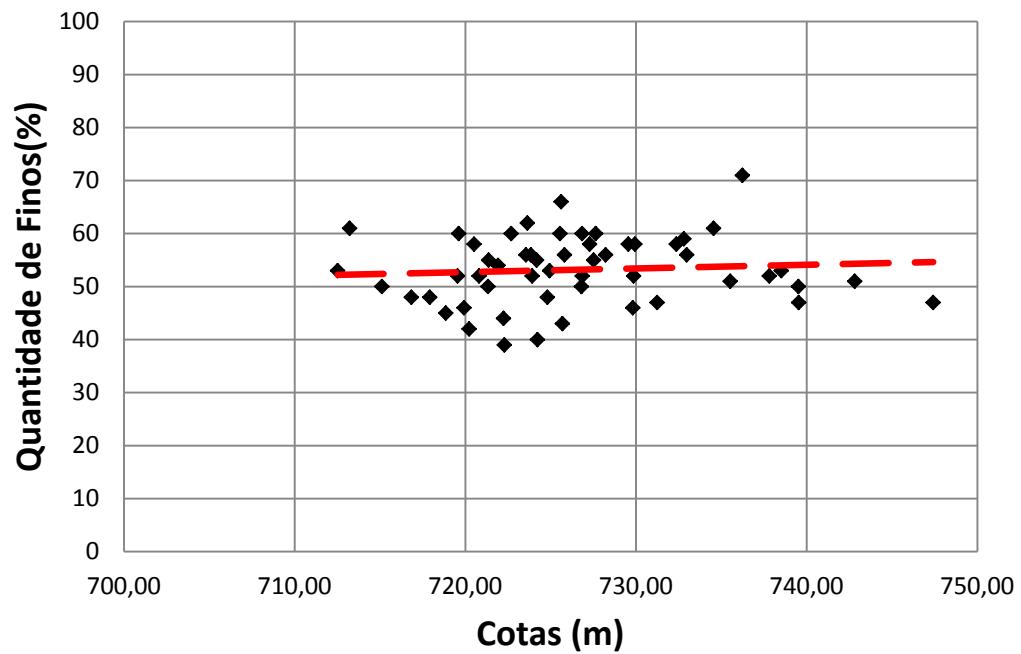


Gráfico 19

A variação granulométrica quanto a cotas da Linha 4 é insignificante e mostra que nesse caso não há relação da cota topográfica com a granulometria.

5.3.1.2. Linha 5

Assim como para a Linha 4, seguem os gráficos 20 a 26 com a relação granulometria versus cotas topográficas.

Neste caso é possível ver uma relação, ainda que sutil, de diferença granulométrica. A tendência é o ligeiro aumento de finos junto com a altitude, principalmente de fração argila, e queda de fração areia fina.

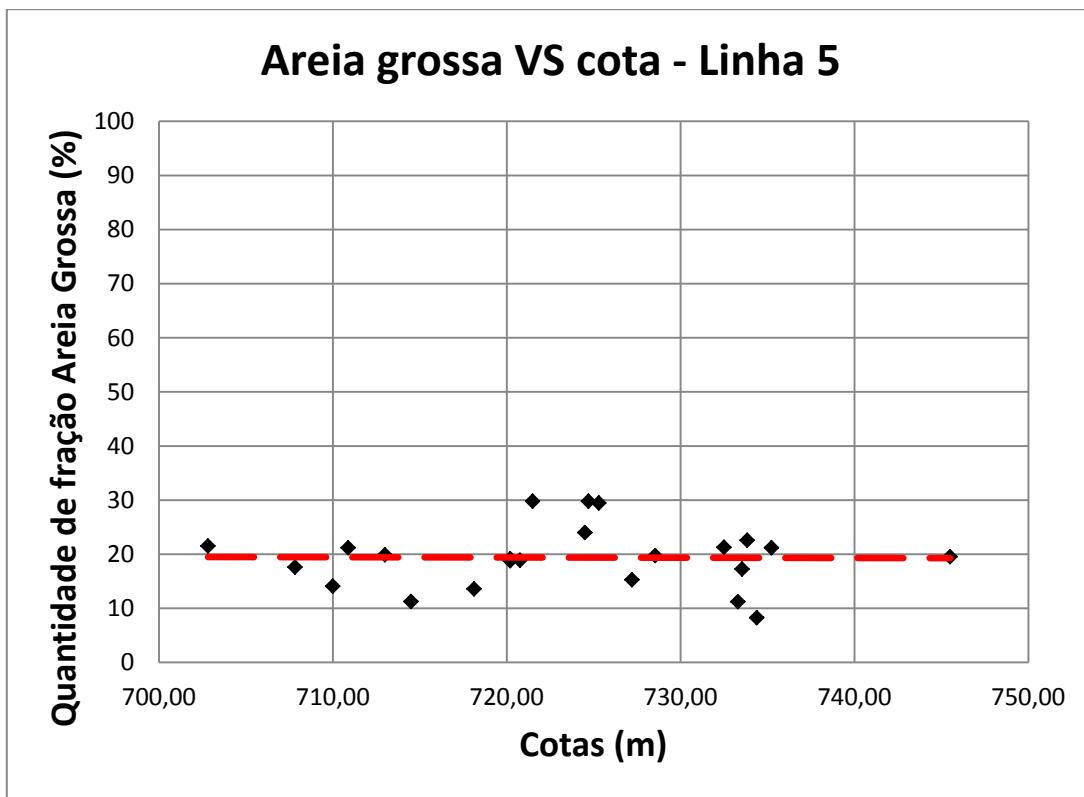


Gráfico 20

Areia média VS cota - Linha 5

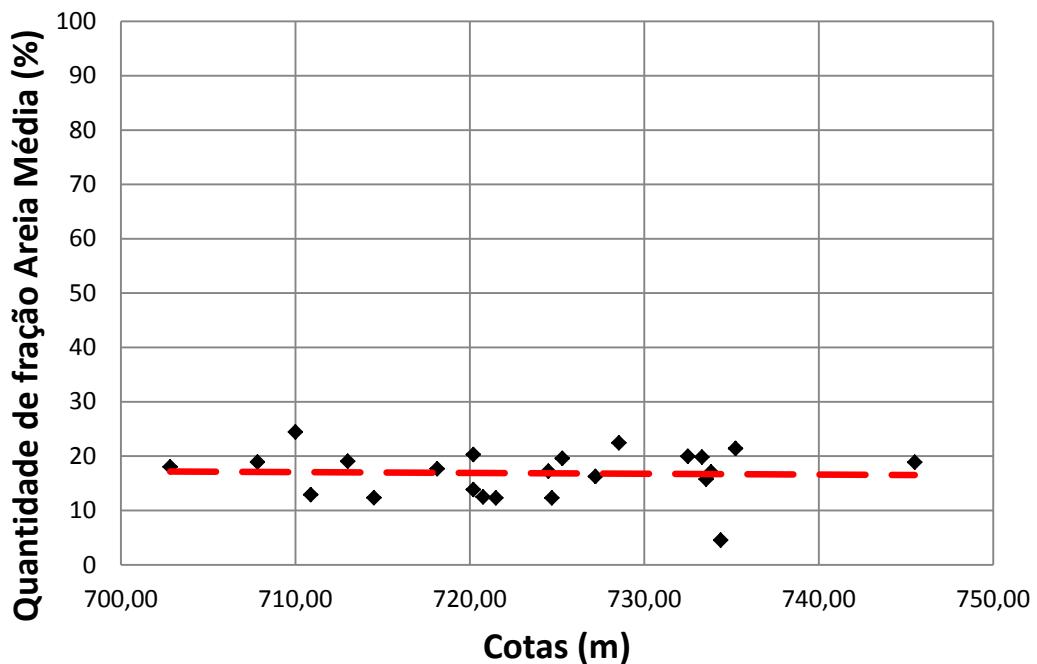


Gráfico 21

Areia fina VS cota - Linha 5

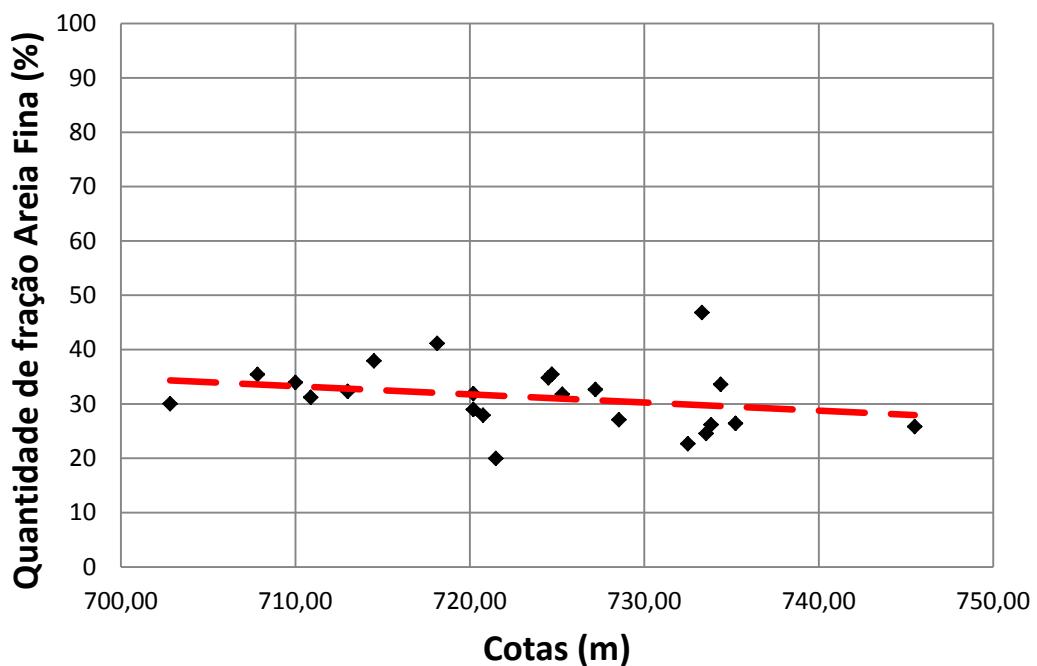


Gráfico 22

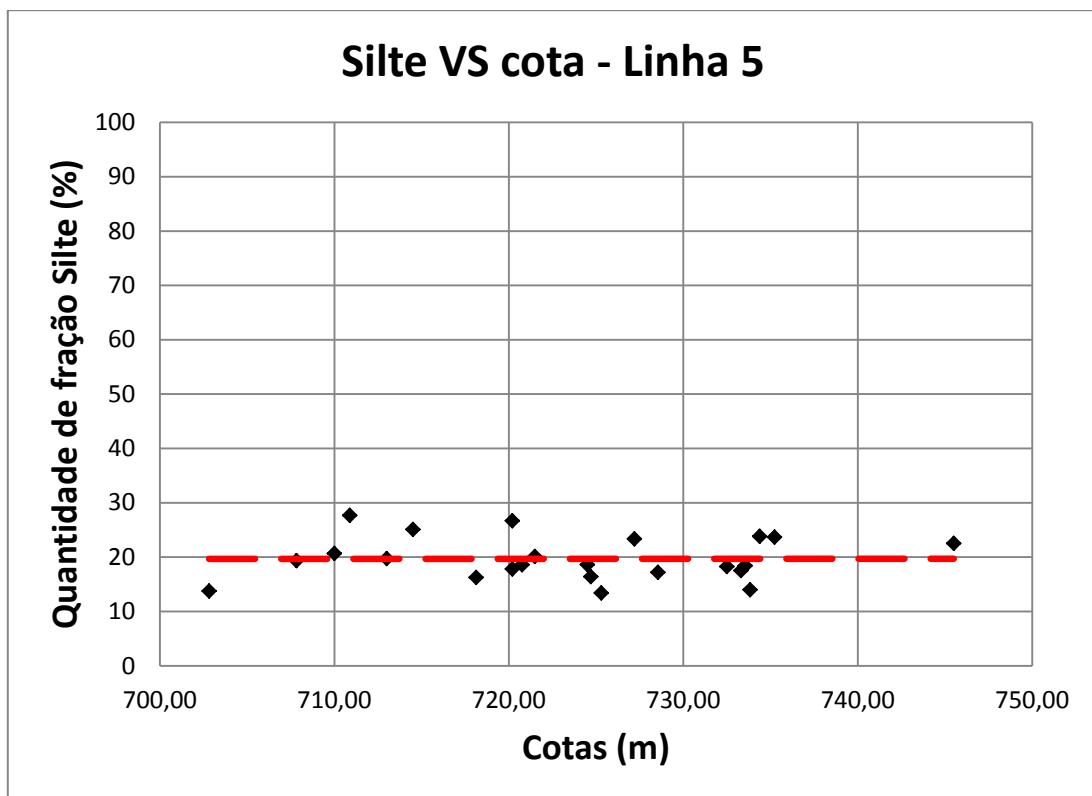


Gráfico 23

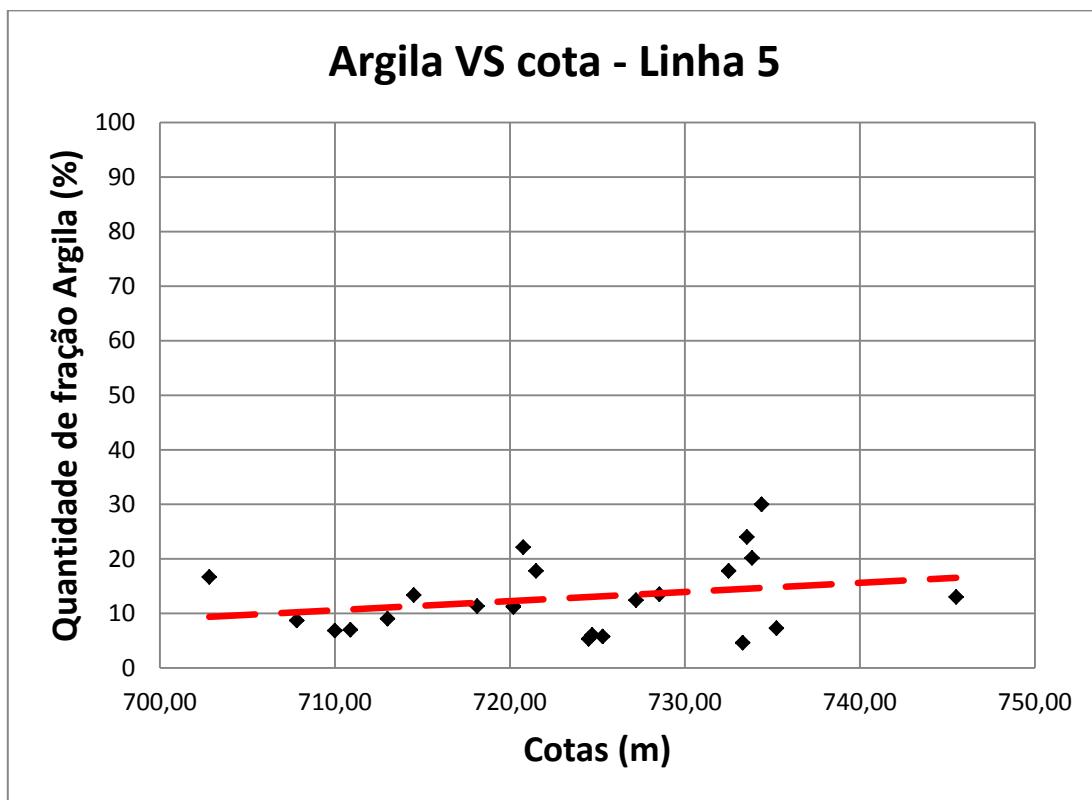


Gráfico 24

Total de areia VS cota - Linha 5

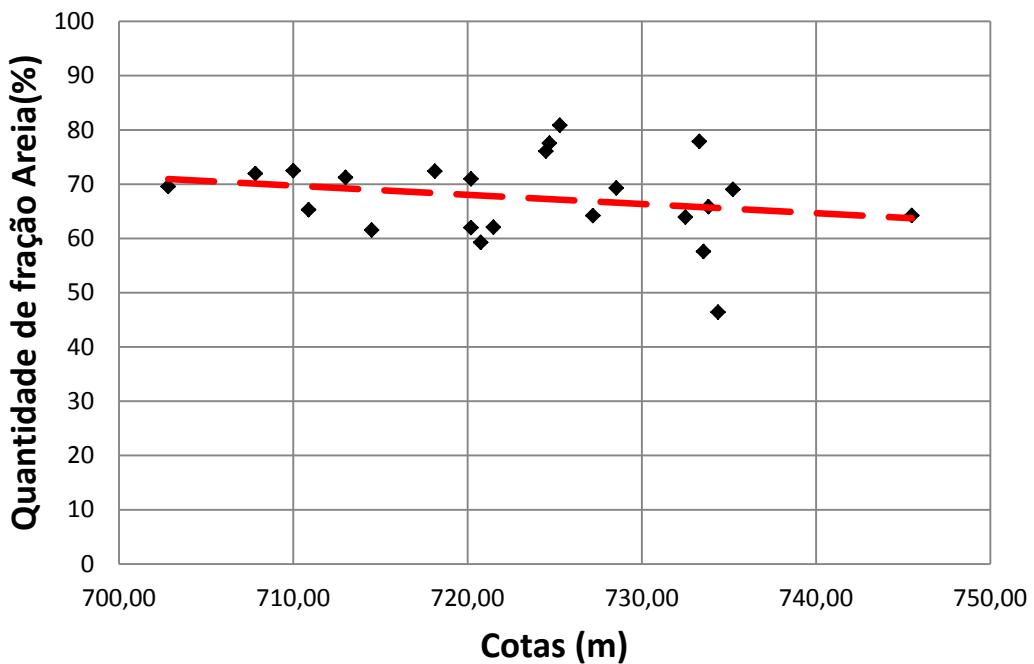


Gráfico 25

Total de finos VS cota - Linha 5

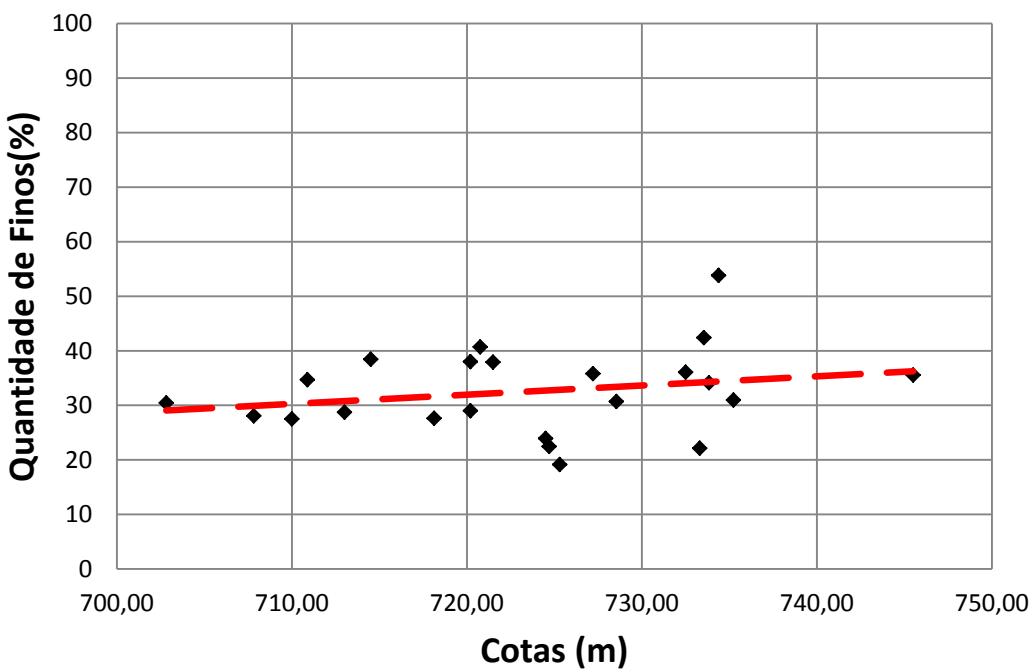


Gráfico 26

5.3.2. Maciço Cantareira

Baseados nos dados do granito da Linha 6, foram plotados gráficos semelhantes aos do item 5.3.1 para essa litologia. Fica comprovada mais uma vez a relação direta da cota topográfica com as características granulométricas dos solos residuais deste maciço como já visto no item 5.2.2.

Os gráficos 27 a 33 mostram a forte queda de frações arenosas e o aumento das frações finas de silte e argila.

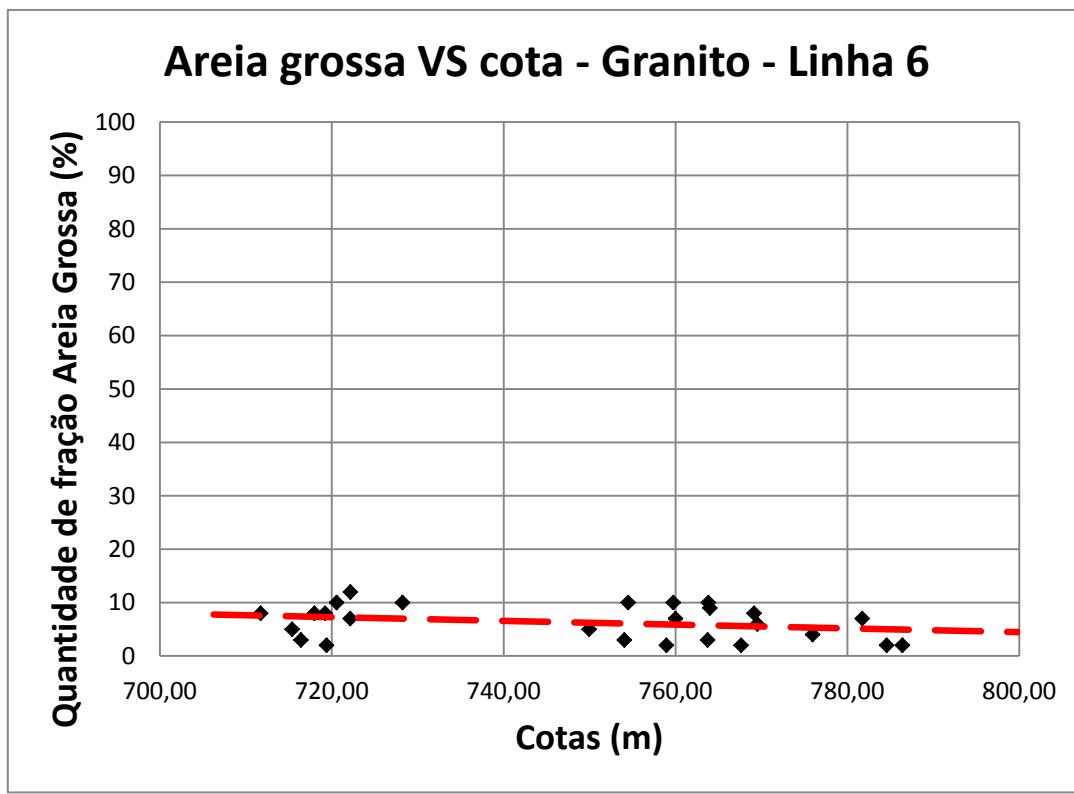


Gráfico 27

Areia média VS cota - Granito - Linha 6

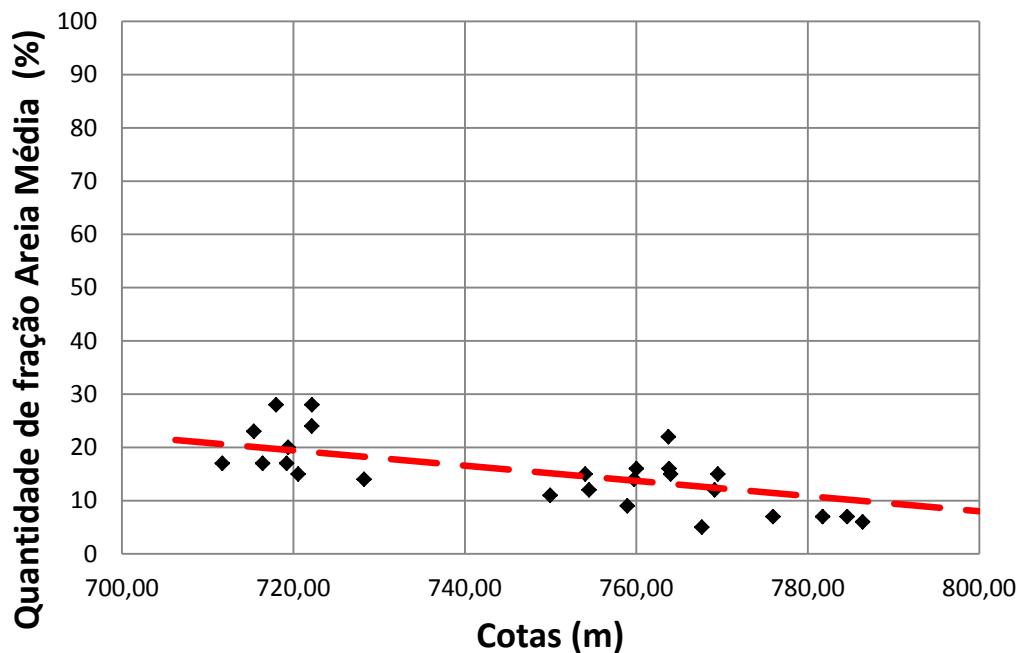


Gráfico 28

Areia fina VS cota - Granito - Linha 6

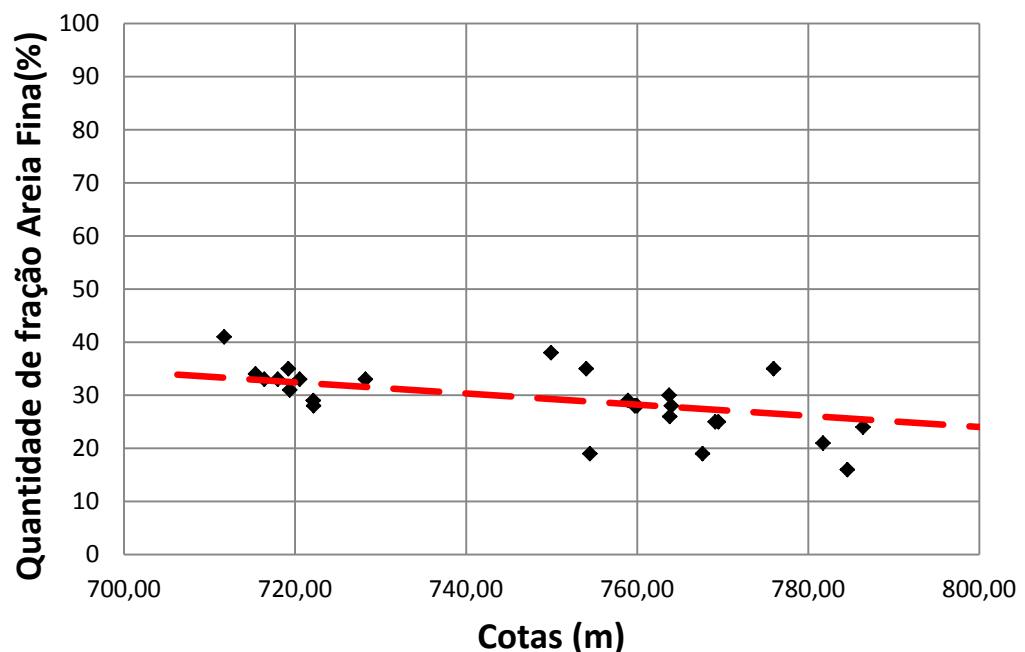


Gráfico 29

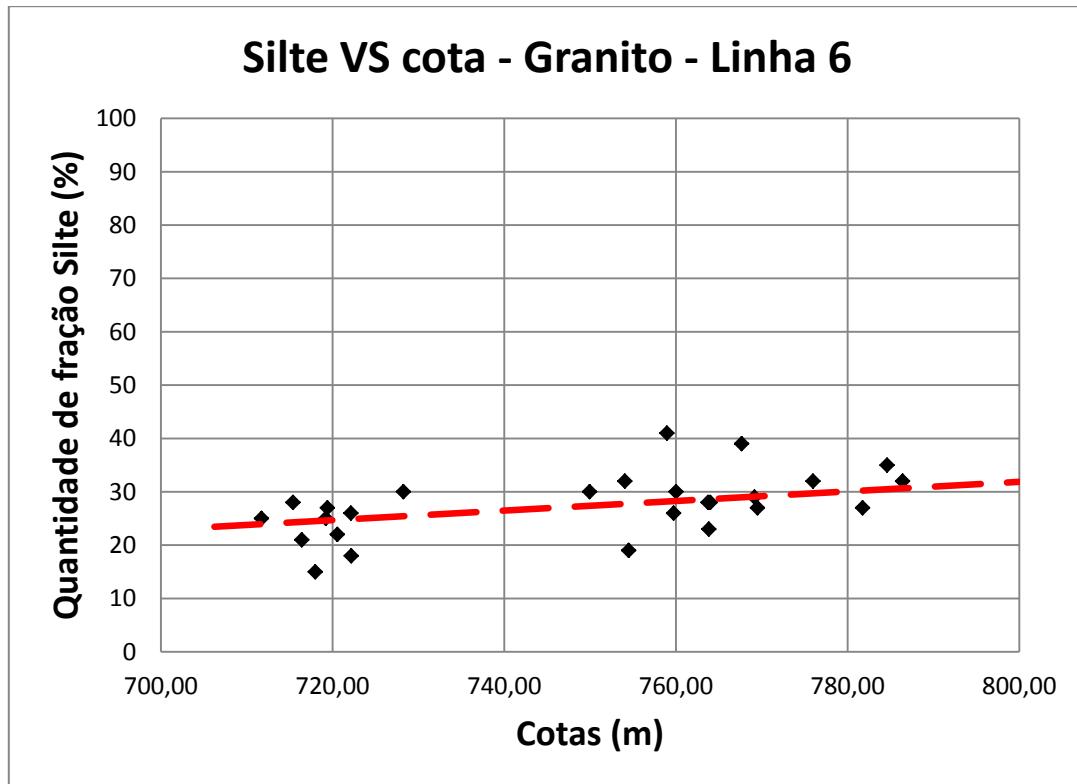


Gráfico 30

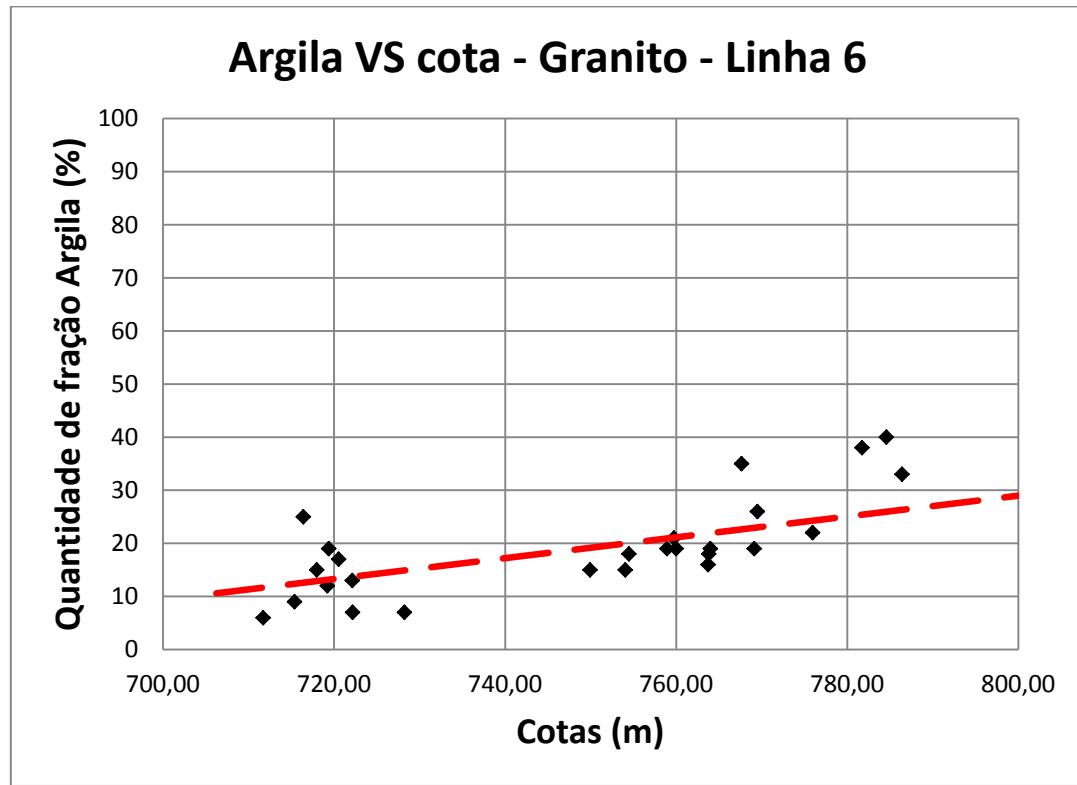


Gráfico 31

Areia total VS cota - Granito - Linha 6

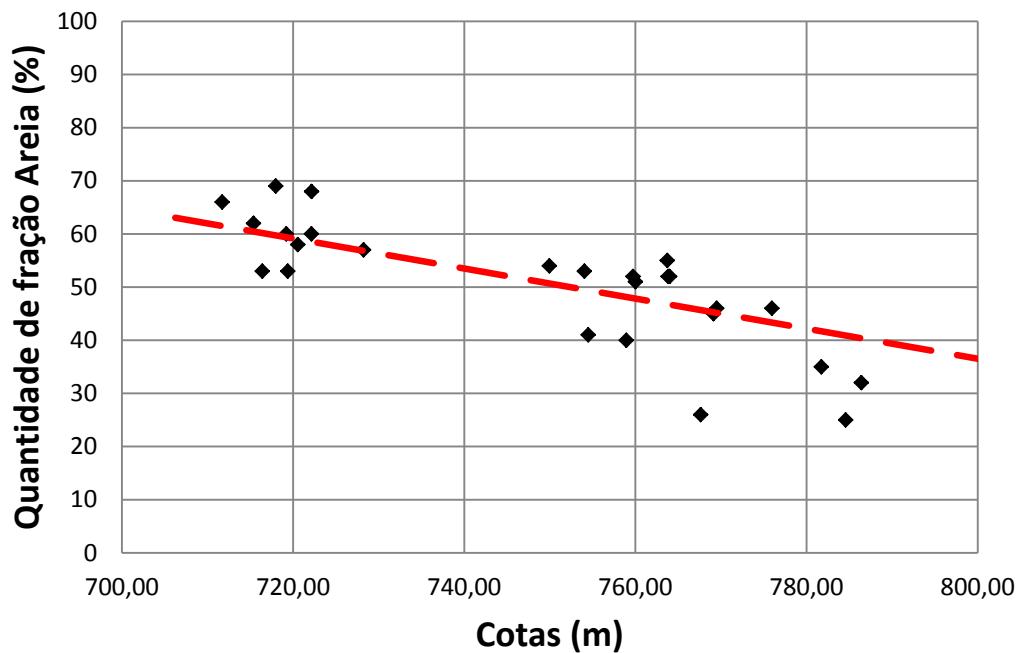


Gráfico 32

Finos VS cota - Granito - Linha 6

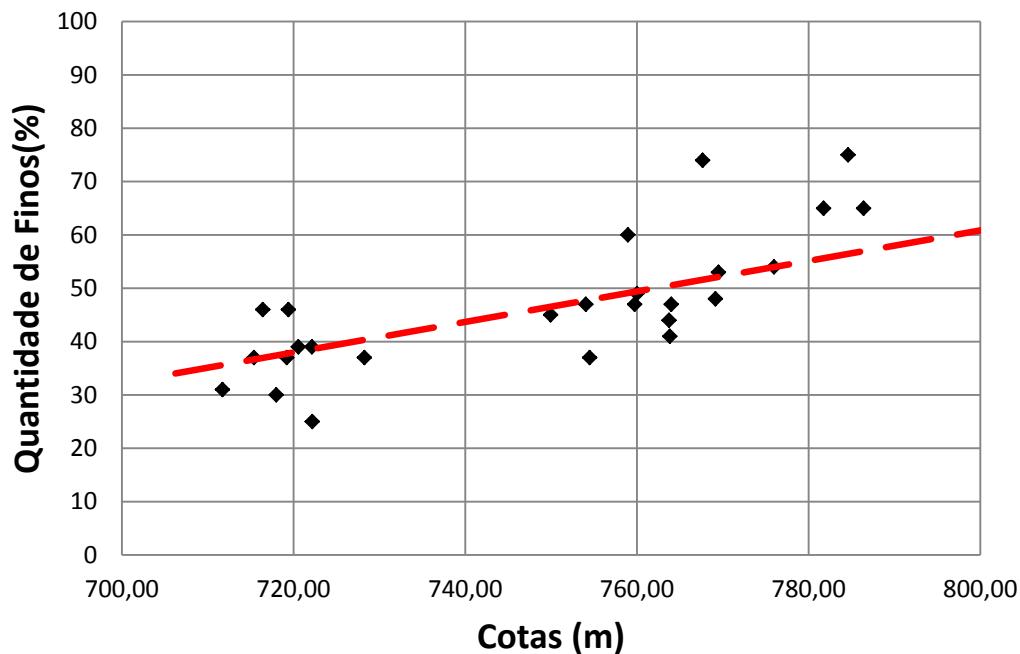


Gráfico 33

6. INTERPRETAÇÕES

6.1. Complexo Embu

Para o Complexo Embu, ficou claro que o comportamento dos solos derivados desta unidade, do ponto de vista geotécnico, tanto em termos de granulometria, limites de Atterberg e compressibilidade, não é de fácil padronização como um todo. Isso se deve certamente à variação litológica dentro do próprio complexo.

Porém, ao tratarem-se os dados de cada linha do Metrô de forma individualizada, é possível notar que dentro de um mesmo fácies do complexo, há sim um padrão esperado.

Para os gnaisses encontrados ao longo do trajeto da Linha 4, espera-se a ocorrência solos residuais muito siltosos e pouco arenosos, além de presença de pedregulhos. A grande maioria das sondagens mistas realizadas nessa linha resultou em rochas gnáissicas de granulação média a grossa e com bandamento e granulometria homogêneos. Isso justifica a pouca variação dos dados quando levadas em conta as cotas topográficas.

Ainda na Linha 4, há três conjuntos de dados, relacionados à sondagem SM-4066 que fogem do padrão. Nesta sondagem, os ensaios granulométricos das amostras foram realizados em um solo extremamente rico em caulin e, portanto, muito argiloso. O alto teor de caulin pode sugerir um veio pegmatítico em meio às rochas metamórficas do Complexo Embu, ou mesmo uma zona com maior concentração de feldspato dentro do complexo gnássico.

Na Linha 5, é possível observar comportamento semelhante do ponto de vista de variação dos dados ao longo das cotas, apesar de ser possível notar ligeiro aumento de finos, principalmente na fração argila. Apesar disso, a quantidade de areia é muito maior em relação aos solos da Linha 4. É possível relacionar isso aos resultados de sondagens ao longo da Linha 5 que mostram gnaisses migmatíticos, diversos deles com passagens pegmatíticas, com forte variação granulométrica e alto grau de fraturamento – em sua maioria entre F4 e F5.

Para as rochas da Linha 6, gnaisses ligeiramente mais finos que os da Linha 4 resultam em solos principalmente arenosos, com menor teor de silte, porém com o mais alto teor de fração argila entre as três linhas.

Utilizando a Figura 14, foi criada a Tabela 2 a seguir. Nela, observa-se que apenas os dados obtidos na Linha 5 encaixam-se próximos aos valores esperados por Pinto (2006) para rochas gnáissicas.

A diferença dos resultados se dá principalmente na relação entre as frações areia e silte. Os valores encontram-se entre 20% e 45% para o silte e 41% e 67% para areia, o que resulta para ambos em uma faixa de cerca de 25% amplitude.

COMPLEXO EMBU							
Origem dos dados	Argila	Silte	Areia fina	Areia media	Areia grossa	Areia total	Pedregulhos
Linha 4	9	45	18	16	7	41	5
Linha 5	13	20	31	17	19	67	0
Linha 6	16	36	14	14	16	44	4
Média	13	34	21	16	14	51	3
Pinto (2006)	10	25	25	25	15	65	0

Tabela 2 – Médias das linhas e média geral obtida para o Complexo Embu em comparação com valores de Pinto (2006)

Baseando-se nos valores dos limites de Atterberg, é de se esperar que os solos resultantes do Complexo Embu sejam essencialmente de baixa compressibilidade e em sua grande maioria mais siltosos do que argilosos.

A Tabela 3 mostra uma comparação entre os resultados e os valores apresentados na Tabela 1 do item 4.3.

COMPLEXO EMBU		
Origem dos dados	LL%	IP%
Linha 4	31	6
Linha 5	45	14
Linha 6	40	16
Média geral	39	12
Pinto (2006)	45-55	20-25

Tabela 3 – Comparação entre os resultados obtidos e os apresentados por Pinto (2006)

A comparação acima mostra que os resultados do presente trabalho diferem muito do que seria esperado se baseado nos dados apresentados por Pinto (2006). Era de se esperar solos nas faixas de transição de baixa a alta compressibilidade e de silte a argila. Porém o que se observa aqui são solos claramente de baixa compressibilidade e ampla predominância de silte.

6.2. Maciço Cantareira

Os resultados de granulometria mostram que, com o aumento da altitude, há aumento da quantidade das frações silte e argila e, em compensação, queda da quantidade de material mais grosso. O Gráfico 12 e os gráficos de 27 a 33 mostram essa relação claramente.

Essa relação direta também é mostrada no Gráfico 4, onde se observa que, com o aumento da altitude, a compressibilidade também aumenta, assim como o IP.

Em ambos os casos, é importante notar que a variação é gradativa, o que torna possível prever de forma segura o que se esperar em cada faixa de altitude de um maciço como este.

A possibilidade mais provável para o padrão observado é uma simples relação do intemperismo com o corpo granitoide. As porções mais elevadas na topografia estão mais sujeitas às ações intempéricas de percolação de fluidos, além de este corpo mostrar muito baixo grau de fraturamento, o que dificulta a percolação até altas profundidades. É de se esperar que quanto maior a ação dos fatores intempéricos, principalmente os químicos, formem-se solos cada vez mais finos e argilosos.

No caso deste maciço, a fração argila relaciona-se com a presença de caulim, que é resultado direto da ação intempérica sobre cristais de feldspato. Como descrito anteriormente, o Maciço Cantareira tem caráter porfiróide, com cristais de até 10 cm de feldspato potássico, e são esses megacristais, mais ou menos alterados, que controlam a quantidade de caulim nos horizontes de solo residual.

Esse comportamento de variação gradativa poderia estar relacionado a um eventual zonamento de granulometria ou diferenciação composicional quanto à profundidade, do topo ao centro do corpo. Porém é improvável.

A Tabela 4 faz a comparação dos valores médios das frações com os valores apresentados por Pinto (2006) para o Maciço Cantareira. Os resultados mostram que os solos resultantes do maciço são mais arenosos e menos siltosos do que os descritos pelo autor citado.

MACIÇO CANTAREIRA							
Origem dos dados	Argila	Silte	Areia fina	Areia media	Areia grossa	Areia total	Pedregulhos
Até 725m	14	23	33	21	7	61	2
725m - 765m	17	29	29	14	7	50	4
Acima de 765m	29	34	25	9	4	38	2
Total Linha 6	19	27	29	15	6	50	3
Pinto (2006)	18	44	16	12	7	35	3

Tabela 4 – Médias obtidas para o Maciço Cantareira em comparação com valores esperados de Pinto (2006)

Os resultados de LL e IP sugerem solos siltosos de baixa a alta compressibilidade. A comparação com os dados apresentados por Pinto (2006) está na Tabela 5. Nesse caso, os valores obtidos se assemelham aos esperados, principalmente se considerados os valores médios gerais.

MACIÇO CANTAREIRA		
Origem dos dados	LL%	IP%
Até 725m	42	15
De 725m a 765m	46	17
Acima de 765m	62	28
Média geral	50	20
Pinto (2006)	45-55	14-18

Tabela 5 - Comparação entre os resultados obtidos e os apresentados por Pinto (2006)

7. CONCLUSÃO

Os dados apresentados permitem estabelecer que, para as rochas do Complexo Embu, os resultados são variáveis devido aos diversos fácies litológicos. Porém, é possível estabelecer um padrão de comportamento para cada fácie quando os mesmos são tratados de forma isolada: solos mais siltosos nos gnaisses grossos da Linha 4 e da Linha 6, que se tornam gradativamente mais argilosos com a altitude no caso da última, e mais arenosos nos gnaisses migmatíticos da Linha 5.

Se considerada a média geral entre os três conjuntos de dados, os valores de granulometria se aproximam dos esperados para rochas gnáissicas. Apesar disso, para a definição de parâmetros geotécnicos para projetos de obras de escavação dentro do Complexo Embu com precisão, a investigação deve ser cuidadosa a fim de definir de forma pontual as características dos solos residuais, já que pode haver variações importantes principalmente na relação silte-areia devido à heterogeneidade de litologias do complexo.

Sobre o Maciço Cantareira, os resultados obtidos permitem estabelecer uma característica marcante dessa litologia: a direta relação entre cota topográfica e aspectos geotécnicos. Foi possível estabelecer um claro comportamento de aumento gradativo de finos e de compressibilidade diretamente relacionados à altitude.

Esse padrão é esperado nos diversos corpos intrusivos na RMSP, semelhantes em termos de estruturação e características compostionais, nos quais ainda não foram realizados estudos como este e que serão eventualmente parte de futuras obras de escavação como do próprio Metrô de São Paulo.

Ao contrário dos solos relacionados ao Complexo Embu, aqueles originados do Maciço Cantareira e outros corpos intrusivos da região tem um comportamento previsível, o que permite um dimensionamento da obra com maior precisão aos projetistas, através da definição de parâmetros geotécnicos preliminares de forma segura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A.. (1977). Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/NE, Simp. Geol. NE, 8. Campina Grande, Atas, 363-391.
- Caputo H. P., 1973. Mecânica dos solos e suas aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 456 p.
- Dantas A. S. L. 1991. Geologia da faixa São Roque e intrusivas associadas na região entre São Paulo e Mairiporã, norte de São Paulo-SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 199 p.
- Duarte I. M. R., Ladeira F. L. & Gomes C. F. 2000. Características Geológico-geotécnicas do Solo Residual do Granito de Marvão (Portoalegre). In: VII Congresso Nacional de Geotecnia, p. 151.
- Fernandes A. J. 1991. Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 120 p.
- Futai M. M., Cecílio Jr. M. O. & Abramento M. (2013). Resistência ao Cisalhamento e Deformabilidade de Solos Residuais da Região Metropolitana de São Paulo. In: Twin Cities – Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba. São Paulo, p.153-184.
- Hasui Y. 2010. A grande colisão pré-cambriana do Sudeste brasileiro e a estruturação regional. Revista Geociências, 29(2):141-169.
- Juliani, C. (1992). O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: ABAS/ABGE/SBG-SP, Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, p. 3-20.
- Monteiro M. D., Gurgueira M. D. & Rocha H. C. (2013). Geologia da Região Metropolitana de São Paulo. In: Twin Cities – Solos das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Curitiba. São Paulo, p.15-44.
- Oliveira C. P. 2011. Comportamento Mecânico de um Solo Residual Naturalmente Cimentado. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 115 p.

Pinto C. S., 2006. Curso Básico de Mecânica dos Solos - Exercícios Resolvidos. 3 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 355 p.

Rocha H. C. 1995. Algumas Características dos Solos Arenosos Terciários de São Paulo e Suas Implicações Em Obras Subterrâneas. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos.

Terzaghi K., Peck R. B. & Mesri G. 1996. Earth Pressure and Stability of Slopes. In: Terzaghi K., Peck R. B. & Mesri G. (eds) Soil Mechanics in Engineering Practice. 3.ed., New York, John Wiley & Sons, p.327-385.

Terzaghi K., Peck R. B. & Mesri G. 1996. Index Properties of Soils. In: Terzaghi K., Peck R. B. & Mesri G. (eds) Soil Mechanics in Engineering Practice. 3.ed., New York, John Wiley & Sons, p.3-31.

9. ANEXOS

9.1. Tabela de dados – Linha 4

Sondagem	Profundidade (m)	Cota (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)					Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade	
				LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia					
									Fina	Média	Grossa	Pedregulhos		
4001	6,70 - 9,00	739,54	Silte argiloso, micáceo	27	24	3	5	42	21	11	8	13	2,62	Rijo
	10,00 - 15,00	736,24	Silte argiloso, micáceo	37	28	9	23	48	16	11	1	1	2,69	Duro
	15,00 - 20,00	731,24	Silte arenoso, micáceo				10	37	12	20	14	7	2,64	Compacto
	24,00 - 29,00	722,24	Silte argiloso, micáceo, com frag. de rocha	26	22	4	2	42	17	19	13	7	2,67	Duro
4009	4,00 - 9,00	734,55	Silte arenoso, micáceo, variegado	32	27	5	10	51	19	14	2	4	2,62	Compacto
	9,00 - 13,00	729,55	Silte arenoso, micáceo, variegado	31	25	6	12	46	12	17	9	4	2,70	Compacto
	13,00 - 15,00	725,55	Silte arenoso, micáceo, variegado	34	27	7	12	48	15	14	6	5	2,70	Compacto
	15,00 - 19,00	723,55	Silte arenoso, micáceo, variegado	36	30	6	10	46	17	15	6	6	2,67	Compacto
	19,00 - 21,00	719,55	Silte arenoso, micáceo, cinza				9	43	16	20	9	3	2,74	Muito compacto
4029	11,00 - 16,00	732,97	Silte arenoso, micáceo, variegado	31	25	6	4	52	23	13	2	6	2,61	Compacto
4032	12,00 - 15,00	727,29	Silte arenoso, micáceo, variegado				8	50	16	18	6	2	2,67	Med. Compacto
	17,00 - 20,00	722,29	Silte arenoso, micáceo, variegado				4	35	22	16	10	13	2,69	Muito compacto
4039	18,00 - 23,00	726,86	Silte argiloso, micáceo, cinza	31	27	4	10	42	20	20	7	1	2,72	Duro
	26,00 - 31,00	718,86	Silte argiloso, micáceo, com frag. de rocha, variegado	29	23	6	12	33	13	20	18	4	2,67	Duro
4053	6,00 - 12,00	732,81	Silte arenoso, micáceo, cinza	31	24	7	7	52	20	16	3	2	2,68	Med. Compacto
	12,00 - 14,00	726,81	Silte arenoso, micáceo, com frag. de rocha, variegado	30	23	7	12	38	17	21	8	4	2,68	Compacto
	14,00 - 17,00	724,81	Silte arenoso, micáceo, com frag. de rocha, cinza	28	19	9	9	39	23	22	4	3	2,77	Muito compacto
	18,00 - 23,00	720,81	Silte arenoso, micáceo, com frag. de rocha, cinza	26	22	4	4	48	12	22	8	6		Compacto
4056	8,00 - 12,00	729,94	Silte argiloso, micáceo, amarelo	28	24	4	5	53	19	15	3	5	2,69	Rijo
	13,00 - 18,00	724,94	Silte arenoso, micáceo, cinza	30	25	5	5	48	20	15	7	5	2,64	Muito compacto
4066	5,50 - 10,00	725,61	Silte argiloso, muito caulínico, branco	48	33	15	40	22	15	13	8	2	2,71	Mole
	11,50 - 16,00	719,61	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	40	24	16	47	23	22	6	1	1	2,73	Médio
	16,00 - 18,00	715,11	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	58	31	27	55	21	14	9	1	0	2,70	Duro
4068	7,00 - 9,00	723,92	Silte argiloso, caulínico, branco	37	28	9	8	58	14	10	5	5	2,60	Mole
	9,00 - 11,00	721,92	Silte argiloso, amarelo	30	26	4	6	54	14	13	7	6	2,59	Mole
	11,00 - 13,00	719,92	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	26	23	3	1	49	18	12	7	13	2,59	Médio
	13,00 - 18,00	717,92	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	24	21	3	7	45	22	15	7	4	2,67	Duro
4069	5,00 - 8,00	725,69	Silte argiloso, micáceo, cinza	28	27	1	3	51	16	15	9	6	2,61	Médio
	8,00 - 10,00	722,69	Silte argiloso, micáceo, com frag. de rocha, cinza	25	23	2	4	42	20	19	11	4	2,64	Duro
4072	7,15 - 10,00	724,18	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	32	27	5	1	47	23	14	9	6	2,60	Médio
	10,00 - 15,00	721,33	Silte argiloso, com frag. de feldspato, cinza	29	27	2	2	41	20	17	10	10	2,64	Duro
4074	5,00 - 7,50	726,84	Silte argiloso, caulínico, cinza	36	29	7	6	54	22	14	4	0	2,61	Mole
	8,00 - 13,00	723,84	Silte argiloso, micáceo, com frag de rocha, cinza	33	29	4	3	52	19	15	7	4	2,63	Médio
	15,00 - 21,00	716,84	Silte argiloso, micáceo, com frag de rocha, cinza	27	25	2	4	46	10	15	16	9	2,63	Muito compacto
4083	6,00 - 8,50	732,37	Silte arenoso, caulínico, amarelo	29	22	7	10	50	18	17	4	1	2,61	Compacto
	8,50 - 15,00	729,87	Silte arenoso, micáceo, caulínico, variegado	33	24	9	10	46	14	16	9	5	2,65	Compacto
	17,00 - 24,50	721,37	Silte arenoso, micáceo, cinza	25	20	5	6	42	20	20	4	8	2,71	Muito compacto
4084	7,00 - 10,00	728,23	Silte arenoso, micáceo, variegado				12	46	17	13	6	6	2,70	Compacto
	11,00 - 14,00	724,23	Silte arenoso, micáceo, cinza	33	26	7	7	45	18	14	2	14	2,77	Muito compacto
	15,00 - 18,00	720,23	Silte arenoso, micáceo, cinza	34	27	7	4	51	17	20	6	2	2,60	Compacto
	22,00 - 25,00	713,23	Silte arenoso, micáceo, cinza	29	22	7	6	50	18	15	4	7	2,69	Muito compacto
4085	10,00 - 14,00	727,64	Silte arenoso, micáceo, variegado	25	20	5	6	34	20	21	9	10	2,72	Compacto
	14,00 - 17,50	723,64	Silte arenoso, micáceo, variegado	28	22	6	2	40	16	24	8	10	2,71	Muito compacto
4087	8,00 - 12,00	737,82	Silte arenoso, caulínico, branco/amarelo				9	52	17	13	4	5	2,62	Pouco compacto
	16,00 - 18,00	729,82	Silte arenoso, caulínico, variegado				9	51	22	11	5	2	2,62	Med. Compacto
	20,00 - 22,00	725,82	Silte arenoso, micáceo, variegado				10	52	18	11	5	4	2,63	Compacto

Sondagem	Profundidade (m)	Cota (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)						Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade		
				LL	LP	IP	Argila	Silt	Areia			Pedregulhos				
									Fina	Média	Grossa					
4090	4,10 - 8,70	747,42	Silte arenoso, micáceo, vermelho	28	23	5	9	43	14	16	12	6	2,68	Rijo		
	8,70 - 11,70	742,82	Argila siltosa, caulínica, branca				2	44	33	15	4	2	2,62	Rijo		
	13,00 - 21,00	738,52	Silte argiloso, micáceo, vermelho	31	26	5	5	51	16	16	7	5	2,65	Rijo		
	24,00 - 28,00	727,52	Silte argiloso, micáceo, com frag de rocha, variegado	32	26	6	2	45	25	16	8	4	2,63	Duro		
	31,00 - 35,00	720,52	Silte argiloso, micáceo, com frag de rocha, variegado	30	24	6	2	49	21	14	6	8	2,64	Duro		
	39,00 - 44,00	712,52	Silte argiloso, micáceo, com frag de rocha, variegado	33	27	6	5	48	21	15	6	5	2,64	Duro		
4092	5,00 - 9,00	739,52	Silte argiloso, vermelho	27	20	7	7	48	19	18	4	4	2,67	Rijo		
	9,00 - 12,50	735,52	Silte argiloso, vermelho	38	31	7	13	45	21	14	6	1	2,71	Duro		
	12,50 - 16,50	732,02	Silte arenoso, micáceo, cinza	29	24	5	14	39	19	18	6	4	2,72	Compacto		
	18,00 - 20,00	726,52	Silte arenoso, muito caulínico, micáceo, branco	31	22	9	5	45	15	23	6	6	2,71	Muito compacto		
	20,00 - 24,00	724,52	Silte arenoso, micáceo, cinza				11	40	12	17	8	12	2,67	Muito compacto		

9.2. Tabela de dados – Linha 5

Sondagem	Profundidade (m)	Cota superior (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)						Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade		
				LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulhos				
5089	21,00 - 24,00	734,38	Areia média a grossa, argilosa, cinza	27	20	7	30	24	34	5	8	0	2,726	Compacto		
5104	15,00 - 19,00	742,23	Silte argiloso, micáceo, cinza	38	25	13									Duro	
	22,00 - 25,00	735,23	Argila arenosa, cinza				7	24	26	21	21	0	2,771	Duro		
5106	12,00 - 15,00	745,50	Silte argiloso, micáceo, marrom avermelhado				13	23	26	19	20	0	2,915	Rijo		
	17,00 - 22,00	740,50	Silte argiloso, micáceo, roxo	46	37	9									Rijo	
	25,00 - 29,00	732,50	Argila arenosa, roxa				18	18	23	20	21	0	2,679	Duro		
5119	22,00 - 26,00	733,54	Areia siltosa, cinza				24	18	25	16	17	0	2,699	Med. Compacto		
	26,00 - 30,00	728,54	Areia argilosa, cinza				14	17	27	22	20	0	2,719	Compacto		
5178	20,00 - 25,00	718,12	Silte arenoso, micáceo, cinza				11	16	41	18	14	0	2,864	Muito compacto		
	25,00 - 30,00	710,88	Silte arenoso, micáceo, cinza				7	28	31	13	21	0	2,871	Muito compacto		
5184	21,00 - 24,00	714,50	Silte argiloso, micáceo, cinza				13	25	38	12	11	0	2,919	Duro		
5185	17,00 - 20,00	720,76	Silte arenoso, micáceo, cinza				22	19	28	12	19	0	2,740	Med. Compacto		
	21,00 - 25,00	702,82	Silte arenoso, micáceo, cinza				17	14	30	18	22	0	2,602	Muito compacto		
	26,00 - 31,00	707,82	Silte arenoso, micáceo, cinza				9	19	35	19	18	0	2,751	Muito compacto		
5189	18,00 - 21,00	710,00	Silte arenoso, cinza				7	21	34	24	14	0	2,800	Muito compacto		
5191	6,00 - 9,00	726,12	Silte argiloso, micáceo, amarelo	68	42	26									Muito mole	
	12,00 - 16,00	720,20	Silte arenoso, micáceo, cinza				11	18	32	20	19	0	2,812	Compacto		
	18,00 - 21,00	713,00	Silte arenoso, micáceo, cinza				9	20	32	19	20	0	2,792	Muito compacto		
5196	12,00 - 16,00	724,50	Silte arenoso, micáceo, cinza				5	19	35	17	24	0	2,626	Pouco compacto		
5200	10,00 - 15,00	727,20	Silte arenoso, micáceo, marrom				12	23	33	16	15	0	2,636	Pouco compacto		
	16,00 - 20,00	720,20	Silte arenoso, micáceo, cinza				11	27	29	14	19	0	2,977	Med. Compacto		
5211	12,00 - 16,00	733,30	Silte arenoso, micáceo, cinza				5	18	47	20	11	0	2,827	Med. Compacto		
	20,00 - 25,00	725,30	Silte arenoso, micáceo, cinza				6	13	32	20	29	0	2,912	Muito compacto		
5221	7,00 - 12,00	733,83	Silte arenoso, cinza				20	14	26	17	23	0	2,691	Med. Compacto		
5222	17,00 - 21,00	724,70	Silte arenoso, micáceo, cinza				6	16	35	12	30	0	2,867	Muito compacto		
5228	27,00 - 30,00	721,49	Silte arenoso, cinza				18	20	20	12	30	0	2,802	Muito compacto		

9.3. Tabela de dados – Linha 6

9.3.1. Complexo Embu

Sondagem	Profundidade (m)	Cota superior (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)					Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade		
				LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia						
									Fina	Média	Grossa				
6263	39,70 - 46,00		Silte argiloso, cinza	41	25	16								Duro	
6268	9,00 - 13,00	766,80	Silte arenoso, micáceo, com frag de rocha, vermelho				12	40	13	14	15	6	2,645	Med. Compacto	
	13,00 - 21,00	762,80	Silte arenoso, caulínico, com frag de rocha, branco				15	41	9	9	21	5	2,674	Compacto	
	30,00 - 33,71	745,80	Silte arenoso, vermelho				25	26	9	29	7	4	2,683	Muito compacto	
	37,00 - 44,00	738,80	Silte argiloso, vermelho				17	26	13	16	25	3	2,606	Duro	
	44,00 - 47,00	731,80	Silte argiloso, caulínico, variegado				26	26	6	8	26	8	2,597	Duro	
	52,00 - 59,00	723,80	Silte argiloso, caulínico, branco				20	29	15	11	25	0	2,627	Duro	
6269	6,05 - 19,71	753,64	Argila arenosa, caulínica, branca	39	22	17	18	29	21	17	5	10	2,623	Duro	
	21,00 - 23,00	738,69	Argilosa siltosa, micácea, caulínica, cinza	42	25	17								Duro	
	24,70 - 28,00	734,99	Silte arenoso, micáceo, cinza				8	32	22	25	12	1	2,685	Muito compacto	
	38,00 - 39,00	721,69	Silte arenoso, variegado				3	47	15	11	21	1	2,675	Muito compacto	
6270	37,00 - 39,00	709,53	Silte argiloso, caulínico, branco	37	24	13								Duro	
6282	16,00 - 22,00	738,43	Silte argiloso, micáceo, cinza	40	23	17	16	63	15	1	1	4	2,722	Duro	

9.3.2. Maciço Cantareira

Sondagem	Profundidade (m)	Cota superior (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)					Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade	
				LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia					
							Fina	Média	Grossa					
6035	2,00 - 16,03	829,16	Silte arenoso (fina), cinza variegado				22	27	31	12	4	4	2,711	Compacto
6065	10,00 - 20,45	786,40	Silte arenoso (fina), marrom	67	35	32	33	32	24	6	2	3	2,759	Compacto
	20,45 - 24,45	775,95	Silte arenoso (fina), verde amarelado				22	32	35	7	4	0	2,760	Muito compacto
	24,45 - 31,45	771,95	Silte arenoso, micáceo, verde	40	26	14								Muito compacto
6066	15,00 - 22,45	781,73	Silte arenoso (fina), marrom				38	27	21	7	7	0	2,737	Med. compacto
	32,00 - 37,00	764,00	Silte micáceo, verde	41	26	15	19	28	28	15	9	1	2,717	Muito compacto
	37,00 - 40,00	759,73	Silte arenoso (fina), verde				21	26	28	14	10	1	2,687	Muito compacto
	41,00 - 45,45	755,73	Silte arenoso (fina), micáceo, verde	38	22	16								Muito compacto
6101	4,00 - 14,00	781,00	Silte pouco micáceo, vermelho	64	36	28								Médio
	15,50 - 25,00	769,50	Silte arenoso (fina), verde				26	27	25	15	6	1	2,740	Med. compacto
	25,00 - 30,90	760,00	Silte arenoso (fina), verde				19	30	28	16	7	0	2,697	Muito compacto
6102	1,00 - 18,00	784,65	Silte micáceo, vermelho	59	37	22								Compacto
	18,00 - 29,40	767,25	Silte arenoso (fina), micáceo, vermelho	61	37	24								Compacto
	29,40 - 39,70	756,25	Silte arenoso (fina), micáceo, verde	42	25	17								Compacto
6104	26,00 - 29,00	745,01	Silte arenoso (fina), com pedregulhos, micáceo, verde	38	23	15								Muito compacto
6105	10,62 - 20,60	763,73	Silte arenoso (fina), com pedregulhos, róseo				16	28	30	22	3	1	2,674	Muito compacto
6106	3,00 - 10,45	784,58	Silte arenoso (fina), micáceo, vermelho				40	35	16	7	2	0	2,752	Med. compacto
	18,45 - 25,98	769,13	Silte arenoso (fina), micáceo, verde				19	29	25	12	8	7	2,788	Muito compacto
	33,10 - 44,45	754,48	Silte arenoso (fina), micáceo, verde				18	19	19	12	10	22	2,767	Muito compacto
6109	6,45 - 10,45	785,82	Argila arenosa (fina), micácea, roxo	62	26	36								Muito mole
	10,45 - 21,45	781,82	Argila com pedregulhos, roxa	77	40	37								Dura
	21,45 - 25,45	770,82	Argila arenosa (fina), roxa	67	35	32								Rija
	25,45 - 28,45	766,82	Silte arenoso (fina), micáceo, verde	62	32	30								Compacto
	28,45 - 35,00	763,82	Silte arenoso (fina), micáceo, verde				18	23	26	16	10	7	2,721	Muito compacto
6110	6,45 - 10,45	781,45	Argila, amarela	72	43	29								Rija
	14,45 - 18,45	773,45	Argila arenosa (fina), amarela	56	28	28								Dura
	23,45 - 29,91	764,45	Silte arenoso (fina), micáceo, verde	59	35	24								Med. compacto
6114	0,30 - 9,00	767,64	Silte arenoso, micáceo, marrom				35	39	19	5	2	0	2,770	Fofa
	9,00 - 13,90	758,94	Silte arenoso, micáceo, marrom				19	41	29	9	2	0	2,784	Med. compacto
	13,90 - 18,00	754,04	Silte arenoso, micáceo, com frag. de rocha, marrom				15	32	35	15	3	0	2,724	Muito compacto
	18,00 - 24,00	749,94	Silte arenoso, micáceo, verde				15	30	38	11	5	1	2,793	Muito compacto
6140	5,00 - 10,00	753,44	Silte argiloso, com areia, vermelho	54	36	18								Duro
	10,00 - 13,60	748,44	Silte argiloso, com areia e mica, vermelho	45	29	16								Duro
	13,60 - 21,00	744,84	Silte argiloso, com areia e mica, cinza	42	29	13								Duro
6143	2,60 - 8,00	747,98	Silte argiloso, vermelho	65	42	23								Médio
	8,00 - 19,80	742,58	Silte argiloso, com areia fina, cinza	48	31	17								Rijo
	19,80 - 27,00	730,78	Silte argiloso, com areia média, micáceo, cinza	39	28	11								Duro
6146	5,45 - 14,00	729,29	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	62	37	25								Médio
	14,00 - 23,00	720,74	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	55	36	19								Duro
	23,00 - 24,00	711,74	Silte argiloso, com areia média, micáceo, cinza	59	36	23								Duro

Sondagem	Profundidade (m)	Cota superior (m)	Descrição	Limites de Atterberg (%)			Granulometria (%)					Massa específica dos grãos (g/cm³)	Dureza / Compacidade		
				LL	LP	IP	Argila	Silte	Areia						
									Fina	Média	Grossa				
6146	5,45 - 14,00	729,29	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	62	37	25								Médio	
	14,00 - 23,00	720,74	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	55	36	19								Duro	
	23,00 - 24,00	711,74	Silte argiloso, com areia média, micáceo, cinza	59	36	23								Duro	
6150	13,00 - 14,00	718,81	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	35	24	11								Duro	
	14,00 - 17,00	717,81	Silte argiloso, micáceo, cinza	34	22	12								Duro	
6153	3,40 - 4,80	727,75	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	47	30	17								Mole	
	4,80 - 12,00	726,35	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	42	25	17								Médio	
6160	11,00 - 17,75	731,23	Argila arenosa (média a grossa), micácea, cinza	40	30	10								Média	
6161	4,95 - 7,00	725,07	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	43	27	16								Mole	
	7,85 - 10,80	722,17	Silte arenoso, arenoso (fina a grossa), micáceo, cinza				7	18	28	28	12	7	2,766	Muito compacto	
	5,00 - 16,08	728,24	Silte arenoso (fina a grossa), micáceo, cinza	38	25	13	7	30	33	14	10	6	2,787	Muito compacto	
6163	10,00 - 15,15	716,24	Silte argiloso, com areia, micáceo, cinza	44	28	16								Duro	
	16,00 - 20,00	710,24	Argila siltosa, com areia, micácea, cinza	39	28	11								Dura	
	20,00 - 22,00	706,24	Argila siltosa, com areia, micácea, cinza	38	26	12								Dura	
6173	6,50 - 14,00	719,21	Argila siltosa, com areia, cinza	41	28	13	12	25	35	17	8	3	2,725	Média	
	14,00 - 16,12	711,71	Silte argiloso, com areia, cinza				6	25	41	17	8	3	2,745	Duro	
6176	7,00 - 10,00	719,38	Silte argiloso, com areia, cinza	50	31	19	19	27	31	20	2	1	2,728	Mole	
	11,00 - 17,80	715,38	Silte argiloso, com areia, cinza	38	23	15	9	28	34	23	5	1	2,732	Duro	
6183	5,00 - 10,00	720,55	Silte pouco argiloso, cinza variegado	37	23	14	17	22	33	15	10	3	2,670		
6184	2,80 - 5,40	722,14	Silte arenoso (média a grossa), marrom				13	26	29	24	7	1	2,689		
6185	6,00 - 9,70	716,41	Silte arenoso (fina a grossa), cinza				25	21	33	17	3	1	2,715		
6188	4,80 - 8,00	717,98	Silte arenoso (fina a grossa), cinza				15	15	33	28	8	1	2,711		
6189	5,60 - 9,40	716,52	Silte pouco argiloso, marrom variegado	37	24	13									