



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FABRÍCIO ARAÚJO DA SILVA

ASPECTOS GEOLÓGICOS PRELIMINARES DE SUBSUPERFÍCIE
DA SUBACIA DA ESTRADA NOVA, SUDOESTE DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELÉM, PARÁ.

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM - PARÁ
FEVEREIRO - 2010

FABRÍCIO ARAÚJO DA SILVA

**ASPECTOS GEOLÓGICOS PRELIMINARES DE SUBSUPERFÍCIE DA SUBACIA
DA ESTRADA NOVA, SUDOESTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM,
PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Geologia da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício da Silva Borges

BELÉM

2010

FABRÍCIO ARAÚJO DA SILVA

**ASPECTOS GEOLÓGICOS PRELIMINARES DE SUBSUPERFÍCIE DA SUBACIA
DA ESTRADA NOVA, SUDOESTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM,
PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Maurício da Silva Borges – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Maamar El-Robrini – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Roberto Vizeu Lima Pinheiro – Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

***Aos meus pais,
meus primeiros e eternos mestres.***

AGRADECIMENTO

- Primeiramente, quero agradecer a DEUS, por ser a luz do meu caminho, por ser a voz da minha consciência e por acima de tudo, ser ELE o dono da minha vida.

- À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências e a Faculdade de Geologia pela oportunidade da conclusão do curso.

- Ao Programa de Educação Tutorial (PET), em especial ao PET-GEOLOGIA.

- Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício da Silva Borges por ter confiado no meu trabalho e ter sido um exemplo científico no qual eu me espelho na comunidade geológica.

- Ao Mesc. Paulo José (LAIT-Laboratório de Análise do Trópico Úmido) pela ajuda nos momentos do tratamento de imagens e confecção de mapas.

- Ao Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora por ser meu pai acadêmico e acima de tudo, por ser meu tutor e amigo, durante toda minha vida acadêmica.

- Ao meu pai Edward Benjamim da Silva Filho e minha mãe Eni Araújo da Silva, pelo incentivo, pelas palavras de apoio, pela existência e aprendizado ao longo desses 5 anos que nos lavaram ao crescimento e amadurecimento pessoal.

- A minha companheira, amiga e futura esposa Raquel Silva Tavares Souza, por toda assistência prestada, por ter sido, muitas vezes, mais do que uma namorada e por todo amor que ela dedica a minha pessoa.

- Aos meus parentes, em especial ao meu avô João Brandão, minha avó Elda Maria e minha tia Heliana da Silva, pela receptividade, dedicação, preocupação e pelo amor e carinho a mim investido durante essa jornada.

- Aos amigos da turma de Geologia de 2005, Bruno Leal, Diogo Santos, Eduardo Souza, Jeremias Feitosa, Patrick Santos e João Neto, a famosa diretoria, pela amizade, pelos longos debates e conversas casas e bares a fora, pelos “ralhos” nas horas precisas e por caminharem de mãos dadas formando uma corrente de união e força por todos.

- Agradeço a todos que, direta e indiretamente, ofereceram qualquer tipo de contribuição para a conclusão do presente trabalho.

*“Você pode até voar
Se bem forte desejar”
Alexandre Pussieldi (1992).*

RESUMO

Este trabalho investigou os aspectos geológicos de subsuperfície da Subacia da Estrada Nova, situada no sudoeste da Região Metropolitana de Belém. Nesta região, utilizou-se como método de investigação a sondagem SPT, que é o método investigativo empregado com mais freqüência na caracterização geotécnica de materiais no subsolo. Para a caracterização dos materiais geológicos de subsuperfície, utilizou-se NBR-6484/2001 (Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio) e a NBR 6484/1983 (Programação de Sondagem de Simples Reconhecimento), além da NBR 7250/82 (Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos). A análise dos perfis de sondagem permitiu inferir que o quadro geológico de subsuperfície é constituído por áreas de deposição de argila, em sua grande maioria e, de areia e silte, que, provavelmente, foram depositados em ambiente de planície lamosa. Os sedimentos compostos por areia e argila, comumente encontram-se depositados alternadamente, indicando condições de ciclicidade. A deposição de espessas camadas lamosas deu-se em regiões favoráveis, nas quais houve espaço suficiente para a acumulação das mesmas. A formação desses pacotes foi gerada durante períodos de inundação, nos quais a energia da corrente foi muito baixa. Foram também interpretados canais, dados por concentração de material arenoso, preenchendo por vezes, formas côncavas imersas nos pacotes lamosos. Não raro foram embasados por fragmentos de laterita e encimados mais uma vez por lama. Assim, as areias tendem a se depositar nas porções mais inferiores e as argilas e siltes nas porções mais superiores, indicando ciclos com decréscimo de energia para o topo.

Palavras-Chave: Subacia da Estrada Nova. Região Metropolitana de Belém. Sondagem SPT. Planície de Maré. Subsuperfície.

ABSTRACT

This work inside investigated the geological aspects of subsurface of the Sub basin of Estrada Nova, located in the southwest of the Metropolitan Region of Belem. This region was used a method of investigation the standard penetration test, which is the investigative method used most often in the geotechnical characterization of materials underground. For the characterization of subsurface geological materials, were used NBR-6484/2001 (Soil – Survey of simple recognition with SPT – Test Method) and the NBR 6484/1983 (Programming Survey of Simple Recognition), beyond NBR-7250/82 (Identification and description of soil samples obtained during investigations of simple recognition of soil). Analysis of profiles of survey allowed to infer that the subsurface geological framework consists of areas of deposition of clay, for the most part, and sand and silt, which, probably, were deposited in an environment of muddy plain. Sediments composed of sand and clay, commonly found deposited alternately, indicating conditions cyclicity. The deposition of thick layers muddies, was in favorable regions, in which there was enough space for the accumulation of the same. The formation of these packets was generated during process of flooding, for the energy of the current was very low. Channels were also interpreted channels, data concentration of sand material, sometimes filling concave shapes immersed in packages muddies. Often were based on fragments of laterite and topped again by mud. So the sands tend to be deposited in the inferior and the clays and silts in the upper portions, indicating cycles with decrease of energy to the top.

Key-words: Sub basin of Estrada Nova. Metropolitan Region of Belem. Standard Penetration Test. Muddy Plain. Subsurface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 –	Mapa de Localização da área de estudo	14
FIGURA 02 -	Coluna estratigráfica do nordeste do Pará	20
FIGURA 03 -	Compartimentação geotectônica da América do Sul	26
FIGURA 04 -	Províncias Tectônicas do norte do Brasil	28
FIGURA 05 -	Bacias Fanerozóicas e Proterozóicas do estado do Pará	29
FIGURA 06 -	Associações Tectônicas da Bacia do Marajó	31
FIGURA 07 –	Desenho esquemático dos equipamentos recomendados para a realização de ensaios SPT	34
FIGURA 08 –	Foto ilustrando o equipamento utilizado no furo de sondagem SPT-03, localizado na Rua Osvaldo de Caldas de Brito, esquina com a Rua Carlos de Carvalho.	35
FIGURA 09 –	Desenho esquemático do Amostrador de Raymond	35
FIGURA 10 –	Foto do amostrador de Raymond no furo SPT-07 que foi utilizado na Rua Caripunas, entre Travessa Breves e Avenida Bernardo Saião.	36
FIGURA 11 –	Furo SPT-02 que foi acompanhado na Rua Osvaldo de Caldas Brito esquina com a Travessa Breves. Seta vermelha indicando o martelo utilizado em queda livre para penetração do amostrador.	37
FIGURA 12 –	Desenho esquemático do padrão de perfil adotado para a execução dos ensaios de sondagem à percussão e dos ensaios de permeabilidade.	38
FIGURA 13 –	Localização dos furos de investigação geotécnica da área de influência do projeto, exibindo o nome das principais ruas.	41
FIGURA 14 -	Armazenamento das amostras de solo do furo de sondagem SPT-02 que foram coletadas para a realização dos ensaios de permeabilidade	42
FIGURA 15 –	Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-02, ilustrando em profundidade a camada argilo-siltosa com fragmentos lateríticos	43

- FIGURA 16 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-03, ilustrando em profundidade a camada argilo-siltosa com fragmentos lateríticos 44
- FIGURA 17 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-10 ilustrando, mais superficialmente, a camada de argilo-siltosa rica em matéria orgânica 45
- FIGURA 18 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-07, evidenciando a espessa camada argilo-arenosa rica em matéria orgânica 47
- FIGURA 19 - Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-06, exibindo a espessa camada de argila rica em matéria orgânica 48
- FIGURA 20 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-08, ilustrando a espessa camada de argila rica em matéria orgânica 49
- FIGURA 21 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-04, ilustrando a espessura significativa da camada de areia fina 51
- FIGURA 22 – Seção geológica A-B na Rua Osvaldo Caldas de Brito ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem 53
- FIGURA 23 - Seção geológica C-D na Rua Caripunas ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem 54
- FIGURA 24 – Seção geológica I-J na Avenida Bernardo Sayão ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem 55
- FIGURA 25 – Seção geológica E-F na Travessa Breves ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem 56
- FIGURA 26 – Seção geológica G-H na Travessa Breves ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem. 57

- FIGURA 27 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-01, ilustrando a espessa camada de aterro com fragmentos lateríticos 59
- FIGURA 28 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-05, ilustrando a consistência do aterro silto-argiloso com fragmentos lateríticos 61
- FIGURA 29 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-09, ilustrando a mudança de resistência da camada de argila em profundidade 63
- FIGURA 30 – Foto ilustrando as condições do canal de drenagem da Rua Caripunas decorrente do efeito antrópico. As setas vermelhas indicam a acumulação de dejetos às margens do canal. 67

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	12
1.1	APRESENTAÇÃO	12
1.2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO	12
1.3	OBJETIVO	15
1.4	METODOLOGIA	15
CAPÍTULO 2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	17
2.1	CLIMA	17
2.2	SOLOS	17
2.3	VEGETAÇÃO	18
2.4	HIDROGRAFIA	19
2.5	GEOLOGIA	19
2.5.1	Formação Pirabas	21
2.5.2	Grupo Barreiras	21
2.5.3	Sedimentos Pós-Barreiras	22
2.5.4	Unidades Holocênicas	22
2.5.5	Discussão Estratigráfica	23
2.5.6	Geomorfologia	24
2.5.7	Arcabouço Estrutural	26
CAPÍTULO 3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
3.1	SONDAGEM SPT	33
CAPÍTULO 4	RESULTADOS	40
4.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS	40
4.2	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	65
4.3	CONSIDERAÇÕES EXTRAS ACERCA DOS CANAIS DE DRENAGEM DA SUBÁCIA	66
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
CAPÍTULO 5	CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	72

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A sociedade moderna vive um período de grande avanço e desenvolvimento tecnológico, que, acelerado pelo crescimento industrial, enfatiza a maior produção e, por conseguinte coloca em segundo plano os efeitos ambientais causados por essas atividades. Nos últimos anos a sociedade depara-se com a possibilidade de comprometimento e escassez de elementos naturais a partir da utilização irracional dos mesmos impulsionados pela aceleração da era industrial.

Desde a construção dos primeiros centros urbanos, a ocupação confusa e caótica de áreas implica em uma desordenada apropriação antrópica do meio ambiente, que configura grandes problemas ambientais, havendo assim um quadro favorecedor que agrava e/ou coloca em risco a saúde e a segurança da população.

Inserir e relacionar obras civis a um contexto geológico e paisagístico/ambiental constitui uma importante abordagem para estudos de viabilidade e de ocupação do meio ambiente. Esse ramo de estudo ainda é pouco explorado na literatura científica. Mais atualmente, a comunidade acadêmica tem enriquecido esse tipo de abordagem, a partir da confecção de mapas geológicos visando uma otimização do planejamento e do aproveitamento das obras civis, para que assim, haja a previsão e o desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos.

Assim, o presente trabalho busca o entendimento geológico, tectônico e estrutural da área investigada, bem como sua relação com o arcabouço da paisagem, servindo assim como base para a fundamentação

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na porção nordeste do Estado do Pará, mais precisamente no extremo sudoeste da Região Metropolitana de Belém (FIGURA 01). Essa região dispõe-se como um polígono cujos limites são os meridianos 48°30'25"O e 48°29'14"O e os paralelos 1°27'37"S e 1°28'38"S. A área possui aproximadamente 7m², e encontra-se totalmente inserida no Bairro do Jurunas.

O acesso a área pode ser feito por meio terrestre, através das rodovias BR-010, BR-316, PA-150 e PA-070; por meio fluvial através de embarcações que trafegam pelo Rio Guamá e da Baía do Guajará e, por meio aéreo através de vôos que saem diariamente para a capital (Belém)

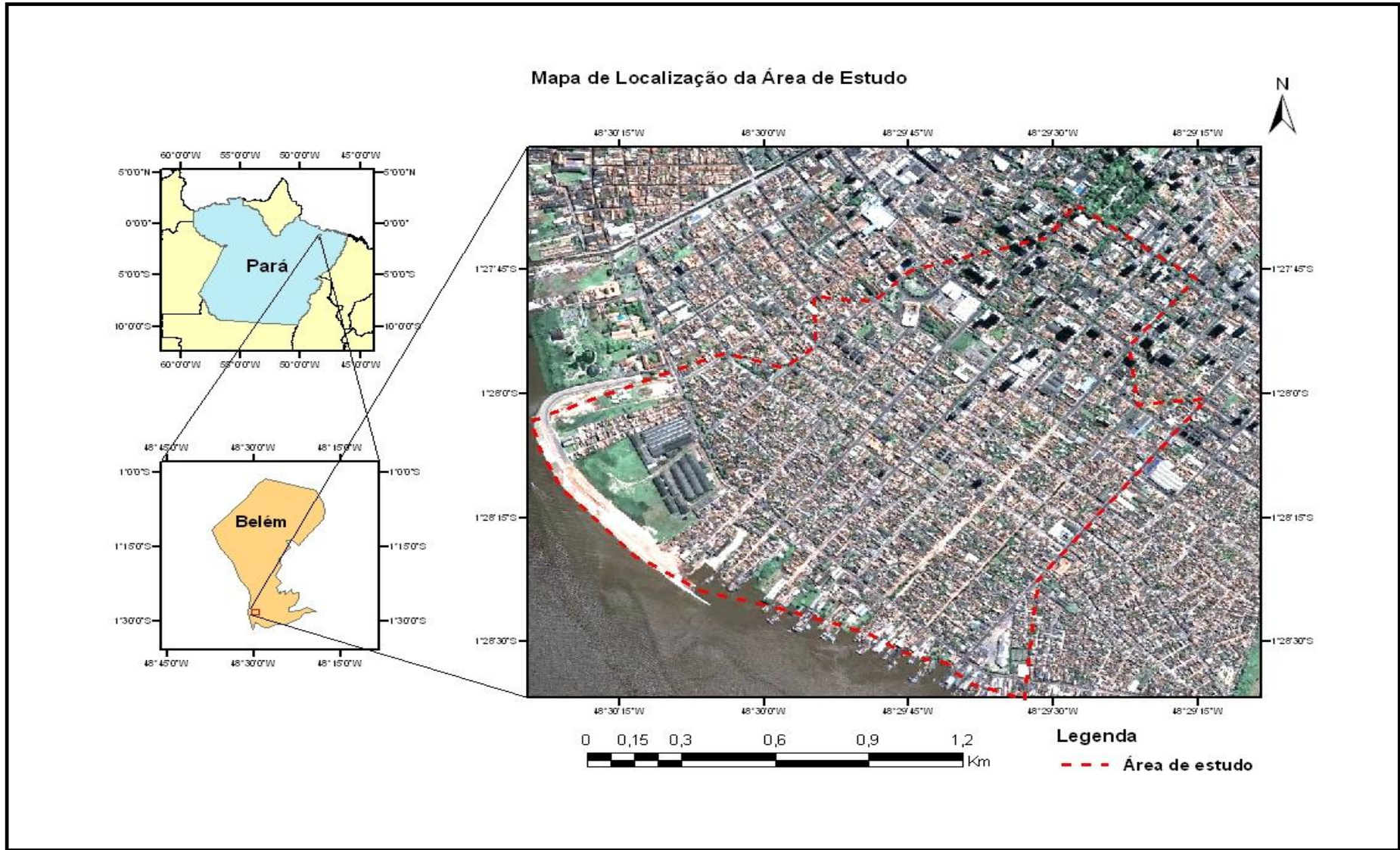


FIGURA 01 - Mapa de Localização da área de estudo

1.3 OBJETIVO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem a finalidade de efetuar o estudo preliminar geológico de importantes áreas urbanas, especificamente uma porção do Projeto da Macrodrenagem da Bacia da Estrada Nova, visando a contribuir para a consolidação do conhecimento básico acerca dos recursos naturais disponíveis na área referida.

Como objetivo específico do trabalho buscou-se integrar dados oriundos de sondagem SPT (*Standard Penetration Test*), com vistas à reconstituição estratigráfica da subacia da Estrada Nova, bem como caracterizar a geometria das unidades geológicas identificadas, com base na distribuição espacial de camadas com diferentes taxas de percussão.

O empenho nesse tipo de pesquisa é justificado pela ausência de informações geológicas em inúmeras áreas urbanas do território nacional, bem como preparar o discente para o trabalho de interpretação e reconhecimento materiais geológicos a partir de furos de sondagens, com vistas ao entendimento geológico e ecológico. Este perfil tem sido bastante demandado por vários segmentos da sociedade, e também pelas empresas interessadas em geólogos.

A conquista dos objetivos deste plano seguramente trará avanços consideráveis no entendimento da distribuição dos elementos da geologia, e das unidades estratigráficas neocenozóicas do segmento sul da cidade de Belém, assim como na geração de informações geológicas na área de localização da subacia.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em quatro etapas: 1) Pré-campo, 2) Campo e 3) Laboratório e 4) Pós-campo. A fase pré-campo consistiu em atividades de consulta à literatura especializada, visando à integração de dados anteriores regionais, que permitissem auxiliar os trabalhos locais.

A fase de campo envolveu investigação pontual da subacia, sobretudo nas condições de maré baixa, assim como o acompanhamento dos ensaios de sondagem SPT, que consistiram de 10 furos de sondagem distribuídos igualmente pela área de trabalho, que foram acompanhados pelo orientador, e valeram-se da utilização dos equipamentos necessários. A fase laboratorial consistiu na confecção

de seções geológicas acompanhada de digitalização e da elaboração de um banco de dados.

Análise e interpretação dos furos de sondagem SPT para cada perfil de penetração em cada ponto amostrado.

Por fim, a fase pós-campo consistiu basicamente da elaboração das seções geológicas e do texto explicativo consolidado.

As fases descritas acima se valeram da utilização de ArcGiz 9.3, CorelDraw X4, Google Earth Pro 5.1 e dos equipamento recomendados pela NBR 6484/2001 (Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio).

CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 CLIMA

O clima predominante na região é equatorial úmido, no qual apresenta alta pluviosidade, em média de 2800 mm/ano, com freqüentes chuvas no período tarde/noite.

A coluna pluviométrica alcança cotas elevadas, atingindo uma média total anual de 2500 – 3000 mm, com cerca de 180 dias de chuva, logo possui estações reguladas pela pluviosidade e não pela temperatura; apresentando, neste sentido, duas estações definidas – estação chuvosa e seca – segundo a maior ou menor freqüência de chuvas (Diniz, 1986).

A alta umidade relativa do ar, com média anual de 85% favorece a formação de chuvas de convecção, cuja precipitação é evidenciada após o período de máxima insolação diurna (Bahia, 2003).

Segundo Penteadó *apud* Sauma Filho (1996), as amplitudes térmicas são inferiores a 2° C (variação entre os períodos mais quentes e os mais frios), observando-se que os valores são calculados pelas médias dos meses mais quentes e mais frios.

Assim sendo, nas horas de maior insolação, a temperatura fica em torno de 30° C e durante a madrugada esta temperatura situa-se em torno de 23° C (Piratoba Morales, 2002).

De maneira geral, a época mais chuvosa ocorre normalmente a partir de dezembro e tem duração de cinco ou seis meses, sendo março, o mês mais chuvoso. Na época menos chuvosa, de julho a novembro, predominam as chuvas de caráter convectivo, geralmente de grande intensidade e curta duração (Bahia, 2003).

2.2 SOLOS

No que se referem aos solos da região Nordeste do Pará, encontram-se cinco tipos de solos preponderantes, sendo o de maior ocorrência o tipo latossolo amarelo, seguido por concrecionário laterítico, gley pouco húmico, podzol hidrofórmico e areias quartzosas (Vieira & Santos, 1987).

Segundo Farias *et al.* (1992) o latossolo amarelo é um solo profundo e

envelhecido ácido a fortemente ácido, com boa qualidade de drenagem formado a partir dos sedimentos do Grupo Barreiras na região.

O tipo de solo denominado concrecionário laterítico encontra-se intemperizado, apresentando em sua constituição uma mistura de partículas mineralógicas finas e concreções de um arenito ferruginoso. Trata-se de um solo originado dos sedimentos areno-argilosos do Grupo Barreiras e sua ocorrência aparece em relevo suave ondulado e fortemente ondulado (Farias *et al.*, 1992).

Os solos do tipo clay pouco húmico, apresentam, originalmente, sedimentos do Quaternário (evidenciado pelo alto teor de silte encontrado nos mesmos), elevados teores de matéria orgânica, sendo fortemente ácidos e mal drenados (Farias *et al.*, 1992).

Os solos podzólicos hidromórficos caracterizam-se por possuir uma textura arenosa, geralmente profundos, com acidez elevada, apresentando horizontes bem diferenciados e baixa fertilidade natural. Desenvolvem-se sobre os sedimentos arenosos do Quaternário.

As Areias Quartzosas são solos originados de sedimentos arenosos do Quaternário, fortemente drenados, bastante permeáveis e com conteúdo de argila inferior a 15%.

2.3 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal predominante na Região Amazônica é do tipo floresta densa, de climas quente-úmidos e superúmidos, ocorrendo manchas de cerrado na faixa sedimentar de idade paleozóica no norte e na porção oriental da ilha de Marajó (Bahia, 2003).

O mapeamento da vegetação da área metropolitana de Belém e Ananindeua revela áreas ainda cobertas por vegetação primitiva, e áreas que sofreram influência antrópica.

A cobertura vegetal em questão pode ser representada por dois tipos bem diferenciados de florestas: 1) as de Terra Firme, subdivididas em Floresta Densa de Terra Firme, Floresta Aberta de Terra Firme e Capoeira de Terra Firme e 2) as de Várzea classificadas como Florestas de Várzea, Floresta de Igapó Original e Capoeira de Várzea. A diferenciação fitofisionômica está em função do solo, da topografia e das águas (Moreira, 1966).

Atualmente, em virtude da influência antrópica, a sua fitofisionomia encontra-se bastante alterada, com áreas de florestas remanescentes, intercaladas com capoeira e áreas de pequeno cultivo ao longo das rodovias e hidrovias e próximas a povoados. Ocorrem ainda, Florestas Secundárias, áreas de Campos e áreas de Capoeiras, onde antigamente assentava-se a floresta original.

2.4 HIDROGRAFIA

A Bacia do Atlântico Norte, na qual a área está inserida, banha extensas regiões. A Bacia possui uma vazão média anual de 6.800 m³/s e uma área de drenagem de 996.000 Km² (Souza, 2007).

Os elementos hídricos de maior expressão, devido suas relações diretas e imediatas com a cidade de Belém, são a baía do Guajará e o rio Guamá, além de inúmeros igarapés que cortam a cidade. Os igarapés se destacam em sua importância, quando se relacionam com a topografia e com a formação e evolução dos vales, que modelam os diferentes níveis de relevos existentes.

A baía de Guajará faz parte do estuário do Rio Amazonas e tem continuidade na baía de Marajó, sofrendo diretamente a influência das marés oceânicas. Suas águas são barrentas e no período de baixa pluviosidade na região, ficam salobras devido ao “avanço” das águas oceânicas (Bahia, 2003).

O rio Guamá margeia a cidade de Belém ao sul e deságua na baía do Guajará, que limita a cidade a oeste, possui grande quantidade de material em suspensão, proveniente de atividades erosivas em suas margens, tornando suas águas turvas.

2.5 GEOLOGIA

Os depósitos de idade cenozóica superior, expostos na região foram individualizados em três unidades litoestratigráficas limitadas por discordâncias regionais (FIGURA 02).

IDADE		UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	DESCRIÇÃO
QUATERNÁRIO		SEDIMENTOS RECENTES	Areias, argilas, siltes, cascalhos.
PLIOCENO		PÓS-BARREIRAS	Areais mal selecionadas, argilas, conglomerados e feições ferruginosas.
MIOCENO	NEO	PALEOSSO LATERÍTICO	Argila, areia, silte conglomerados
	MESO	GRUPO BARREIRAS	
		GRUPO BARREIRAS	
	EO	FORMAÇÃO PIRABÁS	
OLIGOCENO SUPERIOR		PALEOSSO LATERÍTICO /BAUXÍTICO	
CRETÁCEO		GRUPO ITAPECURU	

FIGURA 02 - Coluna estratigráfica das unidades cenozóicas do nordeste do Pará.
Fonte: Modificado de Rossetti *et al.*, (2002).

Os depósitos miocênicos, designados litoestratigraficamente de Formações Pirabas (Neo-oligoceno/Eomioceno) e de Grupo Barreiras (Meso a Neomioceno), acham-se bem expostos no nordeste do Pará, onde são representados por uma variedade de fácies carbonáticas e siliciclásticas. Ocorrem em diferentes contextos estruturais, sendo particularmente bem expostos no centro-leste da sub-bacia de Cametá, na porção leste do Sistema de *Graben* do Marajó, bacia de Bragança-Vizeu e nas plataformas Bragantina e do Pará (Rossetti, 2006).

2.5.1 Formação Pirabas

A Formação Pirabas é eomiocênica, litologicamente constituída por calcários de composição variável, contendo intercalações secundárias de folhelhos negros a esverdeados e arenitos (Petri, 1954, 1957; Ferreira, 1966). Representa um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes com salinidade normal. O rico e variado conteúdo fossilífero sugere a presença de três fácies ecológicas: Castelo, Capanema e Baunilha Grande, associadas respectivamente a ambientes de mar aberto, laguna e mangue (Távora *et al.*, 2002).

O arranjo dos depósitos da Formação Pirabas evidencia padrão progracional, revelado pela superposição de fácies de plataforma aberta por fácies progressivamente mais costeiras, associado a sistema deposicional contendo ilhas barreiras (Goes *et al.*, 1990). Também foram reconhecidos vales estuarinos incisos, através da abundância de depósitos formados sob influência de processos de marés em ambientes canalizados, típicos de estuários. Estes depósitos são caracterizados por litologias típicas com gradações laterais e verticais, geneticamente relacionados com uma variedade de outros depósitos comuns a sistemas estuarinos, destacando-se, particularmente, delta de maré, baía/laguna estuariana, planície de maré e mangue. O relacionamento destes depósitos com estratos atribuídos a plataforma rasa e a associação icnológica, representantes de ambientes marinhos estressados e com influência de água salobra, são importantes elementos na caracterização da natureza estuarina desses estratos (Rossetti & Goes, 2004).

2.5.2 Grupo Barreiras

As rochas sedimentares do Grupo Barreiras repousam discordantemente sobre a Formação Pirabas, sendo o contato entre ambas interdigitado e gradual, com base nas estruturas sedimentares e palinomorfos.

O Grupo Barreiras do Oligoceno Superior - Mioceno Superior, apresenta grande variação faciológica, dominando a fácies argilosa com laminação plano paralela, argilo-arenosa com estruturas de *wave* e *linsen*, arenosa com estratificação sigmoidal e arenosa com estratificação cruzada acanalada (Costa *et al.*, 2003). Estas rochas são atribuídas a ambientes que variam de plataforma externa, restrita/laguna e mangues/planícies, representativos de um sistema marinho

marginal progradacional, além de leques aluviais a marinho transicional dominado por maré (canal de maré, planície de maré e mangue), provavelmente com características estuarinas (Rossetti *et al.*, 2002).

Os sedimentos do Grupo Barreiras indicam processos físicos sugestivos de que inundações rápidas, provenientes de regiões mais elevadas, teriam atravessado leques aluviais e se espreado como fluxos em lençóis (*sheet-flow*) e/ou como canalizações rasas. Estas teriam atingido partes mais deprimidas do sistema, havendo intensa deposição de argila. A diminuição da inclinação fez com que houvesse uma rápida desaceleração do fluxo, como evidenciado pelo predomínio de estruturas geradas em regime de fluxo inferior (Rossetti *et al.*, 1989).

2.5.3 Sedimentos Pós-Barreiras

Os sedimentos pós-Barreiras assentam-se diretamente sobre a discordância marcada pelo paleossolo laterítico do Grupo Barreiras, que sugere deposição de lama-areia em embaiamentos circundados por dunas eólicas e/ou *beach ridges*, relacionada à elevação eustática há 3 Ma, que culminou no acúmulo de uma delgada sucessão estuarina. Com o abaixamento do nível de base, houve exposição do topo seguido por uma erosão, que marca assim uma descontinuidade, implantando-se amplas canalizações, que revelaram a presença de areias grossas a muito grossas e mal-selecionadas, e conglomerados com fragmentos de argila e feições ferruginosas, sugerindo implantação de canais fluviais. Posterior a essa fase de queda houve momento propício para ao desenvolvimento de dunas eólicas de grande porte que preencheram a topografia negativa. É possível também que neste tempo tenha havido progradação de planícies de maré lateralmente às dunas. Posteriormente, outra queda do nível de base ainda é registrada (superfície de descontinuidade), recoberta por depósitos de origem predominantemente eólicos interdigitados com depósitos de mangues e, localmente, canais de maré, então correspondentes à história holocênica mais recente (Rossetti *et al.*, 2002).

2.5.4 Unidades Holocênicas

As unidades holocênicas ocorrem representadas por areias de granulometria fina a média intercalada com restos de vegetais, que ocorrem nas orlas e igarapés. A

área de estudo possui uma superfície distribuída em “interflúvios tabulares” elaborados sobre estes sedimentos.

Segundo Farias *et al.*, (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras.

2.5.5 Discussão Estratigráfica

Segundo Costa *et al.*, (1996), os sedimentos do Terciário Superior no nordeste do Pará, são produtos de um ciclo transgressivo-regressivo, estando depositados em uma bacia assimétrica e alongada na direção NW-SE. O preenchimento desta bacia processou-se pela instalação de depósitos marinhos carbonáticos de águas rasas e quentes, os quais dão lugar gradativamente a depósitos regressivos de natureza siliciclástica, indicando forte soerguimento da borda da bacia e inibição da deposição de carbonatos em subambientes de planície de maré, estuário e plataforma interna. As estruturas que controlam o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE e inclinadas para NE e, falhas transcorrentes NE-SW que funcionaram como zonas de transferência. Essa evolução é entendida como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, relacionado ao evento de separação da América do Sul-África.

O cenário da margem continental brasileira, na passagem do Oligoceno (33,7-23,5 Ma) para o Mioceno (23,5-5,30 Ma), era dominado pela grande transgressão do intervalo Aquitaniano (23,5-20,3 Ma) - Serravalliano (14,3-11,0 Ma), que foi responsável pela grande acumulação de sedimentos nas áreas hoje emersas do continente. Destaca-se também nesse contexto a erosão que ocorreu durante o Tortonian (Arai, 2006).

As oscilações de nível do mar são produzidas pela interação entre a tectônica e a eustasia, que causam reativação e rejuvenescimento do relevo, aumento da subsidência e destruição do solo nas partes altas das bacias de drenagem (Saéz *et al.*, 1995).

As características ecoestratigráficas sugerem evolução ecossedimentar em condições de nível de mar alto, durante um período de relativa estabilidade tectônica. As ecozonas definem condições de ambiente mais raso, que gera contratação do ecoespaço e elevada relação siliciclásticos/carbonatos, produtos de

pulsação tectônica. Correspondem a área de planícies costeiras, localizadas em áreas planas de plataforma continental ampla, sujeitas à transgressão e criação por atividade tectônica, de espaço de acomodação de sedimentos pela subsidência (Rossetti, 2006)

Considera-se que os depósitos estuarinos formaram-se durante a passagem de trato de sistema transgressivo a mar alto, sugerido pelo caráter progradante da sedimentação. A progradação ocorreu através de episódios múltiplos de variação do nível do mar de alta frequência, os quais se superimpuseram aos processos transgressivos e de mar alto, fácies proximais, intermediárias e distais dos sistemas estuarinos. (Rossetti, 2006).

O detalhamento dos depósitos terciários e quaternários que ocorrem ao longo do litoral norte brasileiro é de fundamental importância para a caracterização dos eventos geológicos que marcam o sub-período Neógeno em escala mundial, uma vez que eles não se constituem em eventos isolados, mas documentam uma história de flutuação do nível do mar, refletindo mudanças eustáticas, provavelmente combinadas a fatores tectônicos (Rossetti, 2001).

2.5.6 Geomorfologia

Segundo Farias *et al.*, (1992), as grande unidades geomorfológicas características do Nordeste do Pará, foram divididas em quatro unidades principais: Terrenos Sedimentares do Quaternário/Pleistoceno; Terrenos Sedimentares do Quaternário/Holoceno e Zonas Rebaixadas e Terraços Fluviais Inundáveis.

2.5.6.1 Terrenos Sedimentares do Quaternário / Pleistoceno

São constituídos por superfícies pediplanas aplainadas, que surgem em alguns locais com ondulações de vertentes suaves e topos arredondados, apresentando níveis de concreções ou carapaças ferruginizadas de areia ou argila, provavelmente pertencentes à base de sedimentos do Pós-Barreiras. Suas unidades mais elevadas correspondem aos tabuleiros e os mais baixos aos terraços baixos e os mesmos se inserem na unidade regional dos baixos platôs do Planalto da Amazônia (Vieira e Santos, 1987) e na unidade de Terrenos Sedimentares do Terciário (CODEM, 1975).

2.5.6.2 Terrenos Sedimentares do Quaternário/Holoceno

Localizam-se principalmente nas áreas de baixadas da Região Metropolitana de Belém, localizadas nas adjacências da baía do Guajará e do rio Guamá. São constituídos por sedimentos argilosos, inconsolidados, assemelhando-se regionalmente a Planície Amazônica que se trata de uma unidade de relevo localizada em uma faixa nas duas margens do Amazonas, alargando-se na região da foz nas inúmeras ilhas, incluindo Marajó. Têm características bem distintas não comparáveis a nenhuma outra área de planície no que diz respeito à particularidade e diversidade de feições que apresenta. Esta planície tem partes sujeitas a inundações periódicas pelas chuvas ou pelas cheias de um dos rios e acompanha às margens do Rio Guamá, o furo das Marinhas e o baixo curso de seus afluentes. A inundação é um dos elementos que possibilita a sedimentação recente de uma grande área contribuindo também para fixação através da vegetação rasteira. Os canais marcam a orientação da sedimentação e os diques marginais são os reflexos de um dos últimos eventos de todo um processo de sedimentação.

2.5.6.3 Zona Rebaixada e Terraços Fluviais Inundáveis

Caracteriza-se por cotas topográficas baixas (aproximadamente 4 metros). É considerada pobre topograficamente, estando presente nas áreas de baixadas da Região Metropolitana de Belém, com ocorrências de inundações periódicas. No decorrer de épocas chuvosas ou de afluxo das marés é responsável pelo represamento dos cursos d'água, causando inundações nos terrenos de planície e sedimentação.

Na área de estudo encontramos o Planalto Rebaixado da Amazônia, uma extensa superfície do Pediplano Pleistocênico, que se limita nas margens do rio com a Planície Amazônica. Seu relevo corresponde a uma extensa superfície plana, suavemente ondulada e dissecada, desenvolvido em rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras. As flutuações dos níveis de base da rede hidrográfica engendraram processos erosivos e/ou de sedimentação e o clima e as flutuações eustáticas influenciaram nos níveis de base dos aplainamentos (Piratoba Morales, 2002).

2.5.7 Arcabouço Estrutural

As grandes unidades geotectônicas que constituem o continente sul-americano são a Plataforma Sul- Americana e a Cadeia Andina (Almeida *et al.* 1981). O território brasileiro ocupa grande parte da Plataforma Sul- Americana, definida por três escudos pré- cambrianos, denominados Brasil Central ou Guaporé, das Guianas e Atlântico, além de extensas áreas de coberturas plataformais fanerozóicas, acumuladas em diversas bacias sedimentares, destacando-se as do Amazonas e Solimões, do Paraná e do Parnaíba (FIGURA 03).

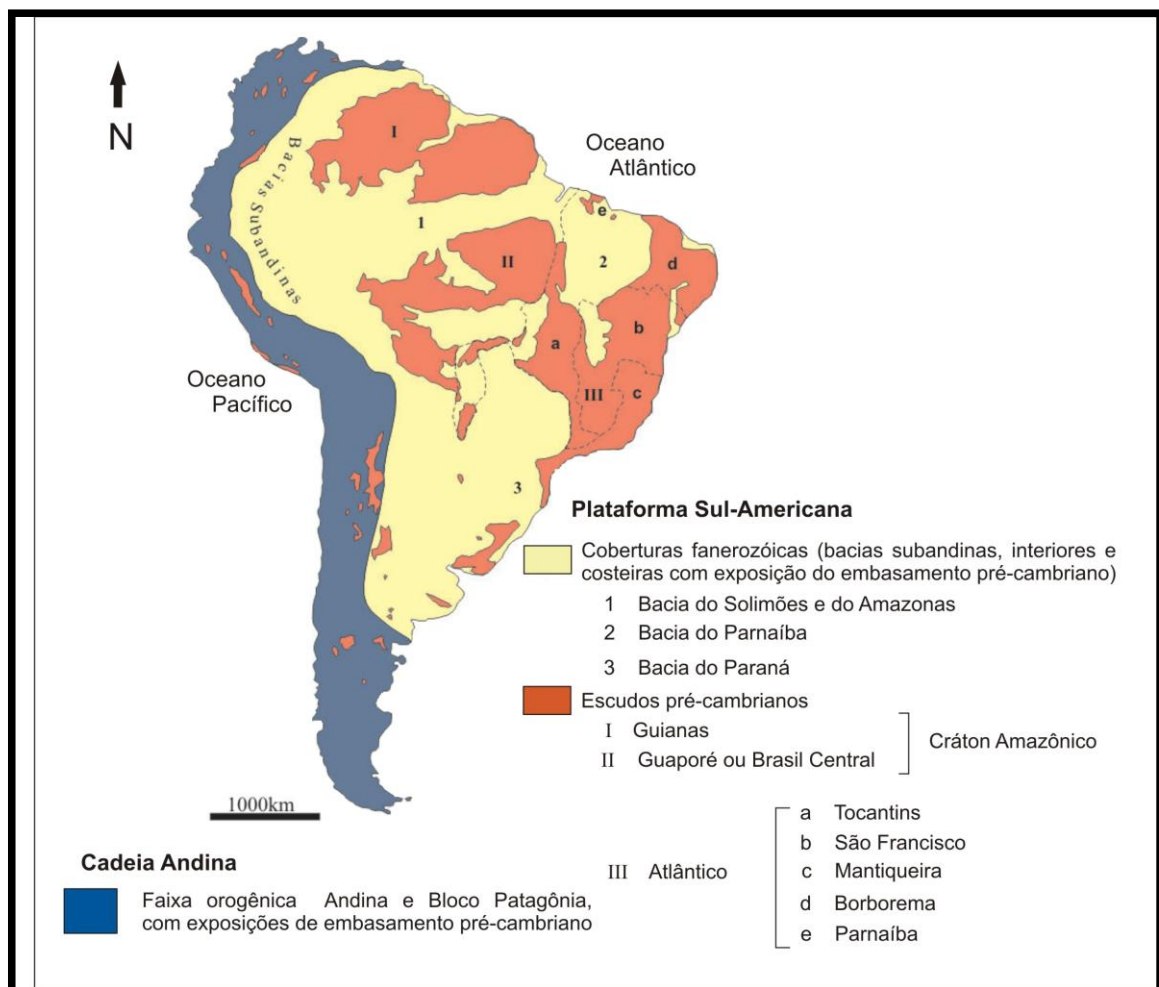


FIGURA 03 - Compartimentação geotectônica da América do Sul.
Fonte: Modificado de Almeida *et al.*, (1977, 1981).

O Cráton Amazônico representa uma grande placa litosférica continental, composta por várias províncias crustais de idades arqueana a mesoproterozóica, estabilizada tectonicamente em torno de 1,0 Ga, tendo se comportado como uma

placa estável no Neoproterozóico, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras (Brito Neves e Cordani 1991).

Neste trabalho, foi adotada a proposta de Santos (2003), que divide o cráton em sete províncias tectônicas ou geocronológicas (Figura 04), a saber: Carajás (3000 – 2500 Ma), Transamazonas (2260 – 1990 Ma), Tapajós – Parima (2030 – 1860 Ma), Amazônia – Central (1900 – 1860 Ma), Rondônia – Juruena (1850 – 1540 Ma), Rio Negro (1820 – 1520 Ma) e Sunsás (1450 – 1000 Ma).

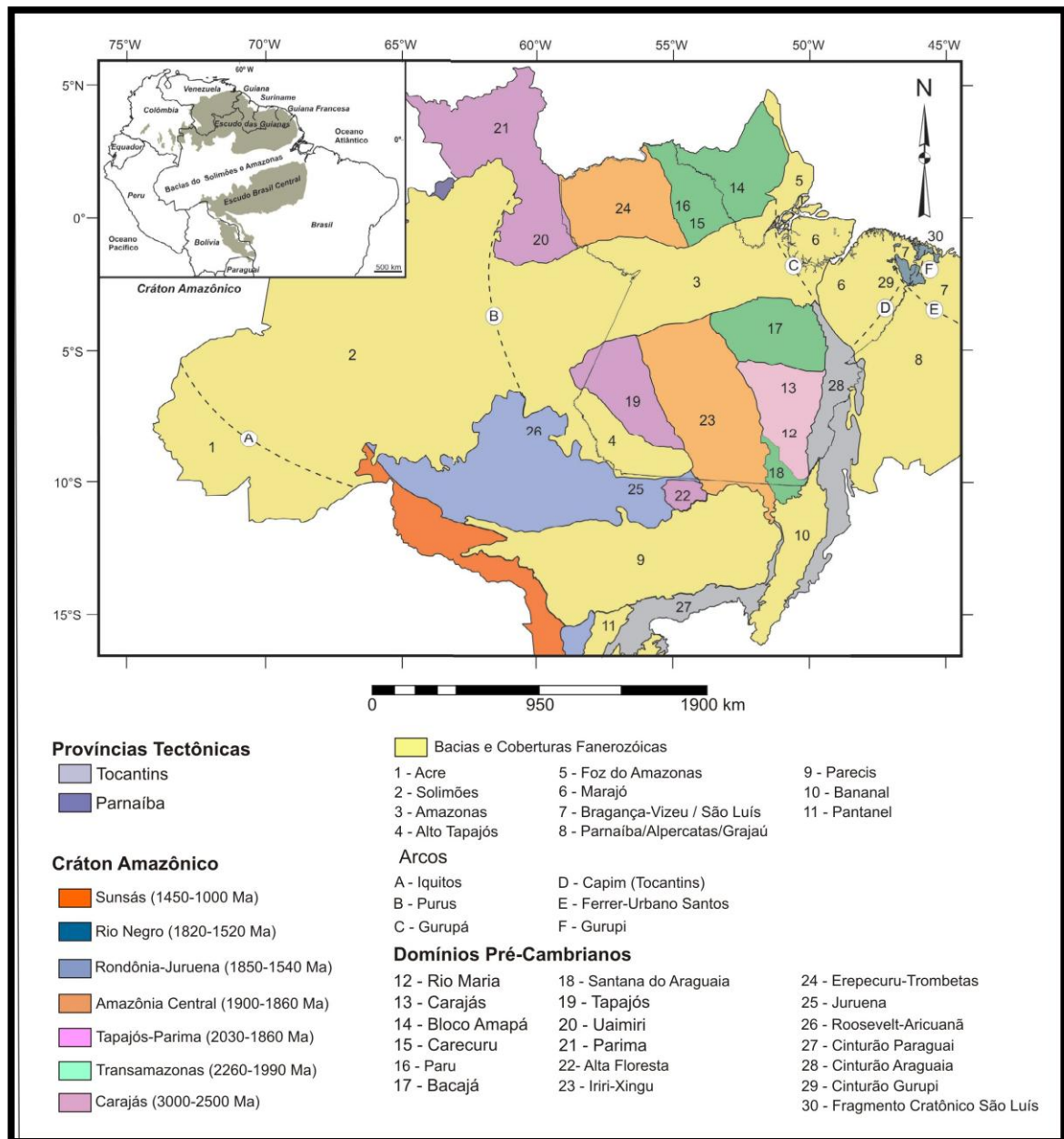


FIGURA 04 - Províncias Tectônicas do norte do Brasil.
Fonte: Modificado de Almeida *et al.*, (1977, 1981) e Santos (2003).

Cada província tectônico/geocronológica foi compartimentada em domínios tectônicos, utilizando-se critérios como padrões geocronológicos, associações litológicas, *trends* estruturais e assinaturas geofísicas e, conseqüentemente, com evolução geológica particular e distinta em relação a dos domínios adjacentes.

Em relação às coberturas sedimentares, no Pará estão representadas 7 bacias fanerozóicas (FIGURA 05).

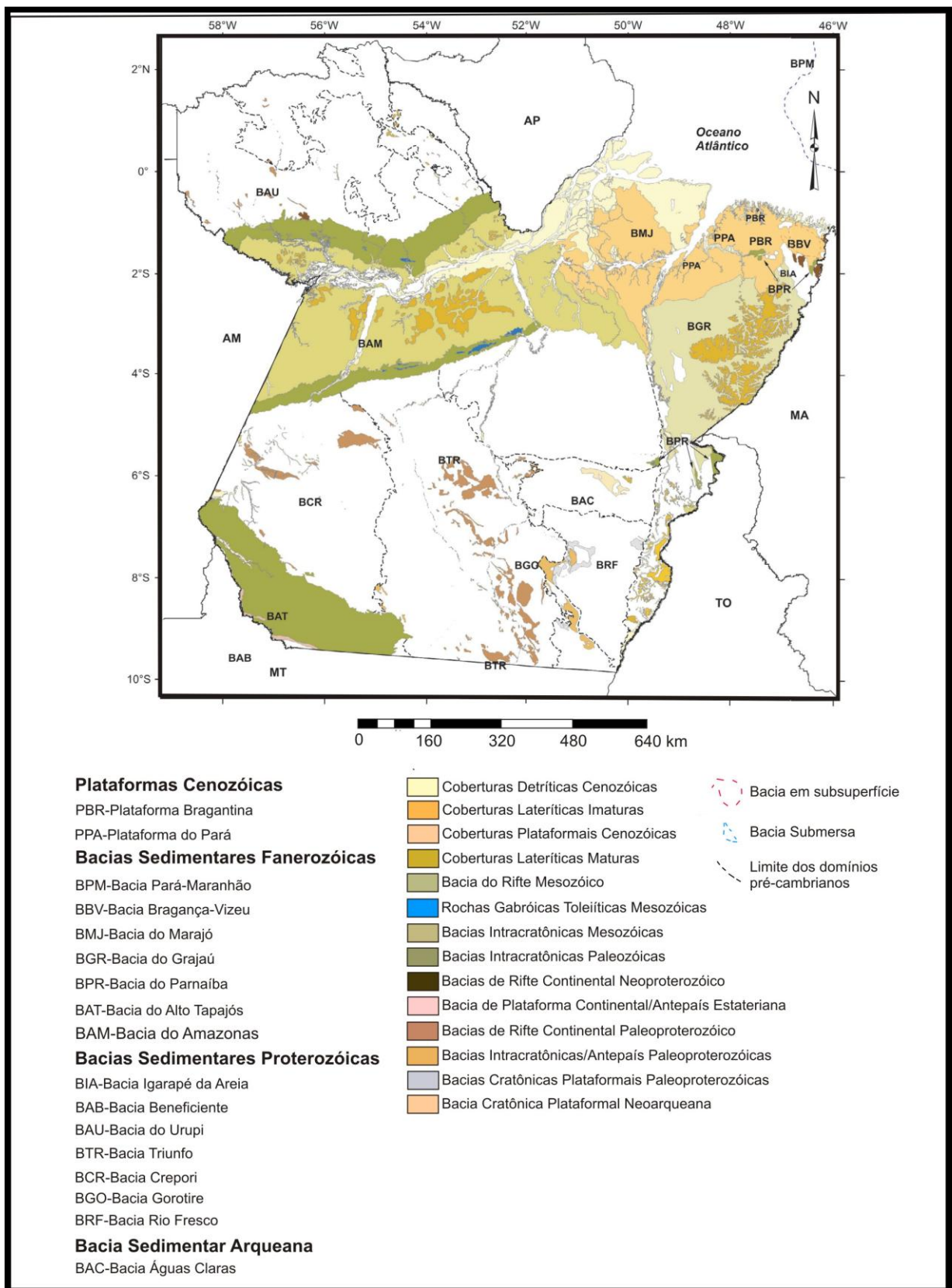


FIGURA 05 - Bacias Fanerozóicas e Proterozóicas do Estado do Pará.

Fonte: Modificado de Vazquez *et al.*, (2008).

A Bacia do Marajó (FIGURA 06), localizada no norte do Pará, abrange a área estudada. Segundo Villegas, 1994, ela apresenta uma forma de bumerangue dada por falhas normais NW-SE, cortadas por falhas de transferência NE-SW e ENE-WSW, que compartimentam as sub-bacias Mexiana, Limoeiro, Mocajuba e Cametá.

Trata-se de um rifte preenchido com milhares de metros de seqüências cretáceas, além de cenozóicas pós-rifte, depositados sobre o embasamento pré-cambriano e, remanescentes de seqüências paleozóicas das bacias intracratônicas. A seqüência de pós-rifte subaflorante, é de relevância para esse trabalho por serem depositadas, principalmente, durante o Paleoceno e o Plioceno, que equivalem às coberturas do Grupo Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras (Rossetti e Goes, 2004).

Baseado nos dados de sísmica, gravimetria e sondagem, Villegas (1994) propôs que a Bacia do Marajó consiste de hemi-grabens controlados por falhas normais e transcorrentes que refletem os *trends* dos cinturões de cisalhamento do embasamento pré-cambriano. A saber, um cinturão NW-SE do Escudo das Guianas e sua componente NE-SW, bem como o Cinturão Araguaia de orientação N-S. Ainda segundo este autor, as falhas normais NW-SE e NNW-SSE e as compartimentais NE-SW se instalaram durante a extensão regional no Eocretáceo. O avanço das falhas lístricas e o progressivo abatimento do teto desencadearam uma importante abertura da Bacia do Marajó, seguida da implantação de falhas normais antitéticas, expressiva sedimentação e edificação de altos intrabaciais (*horsts*).

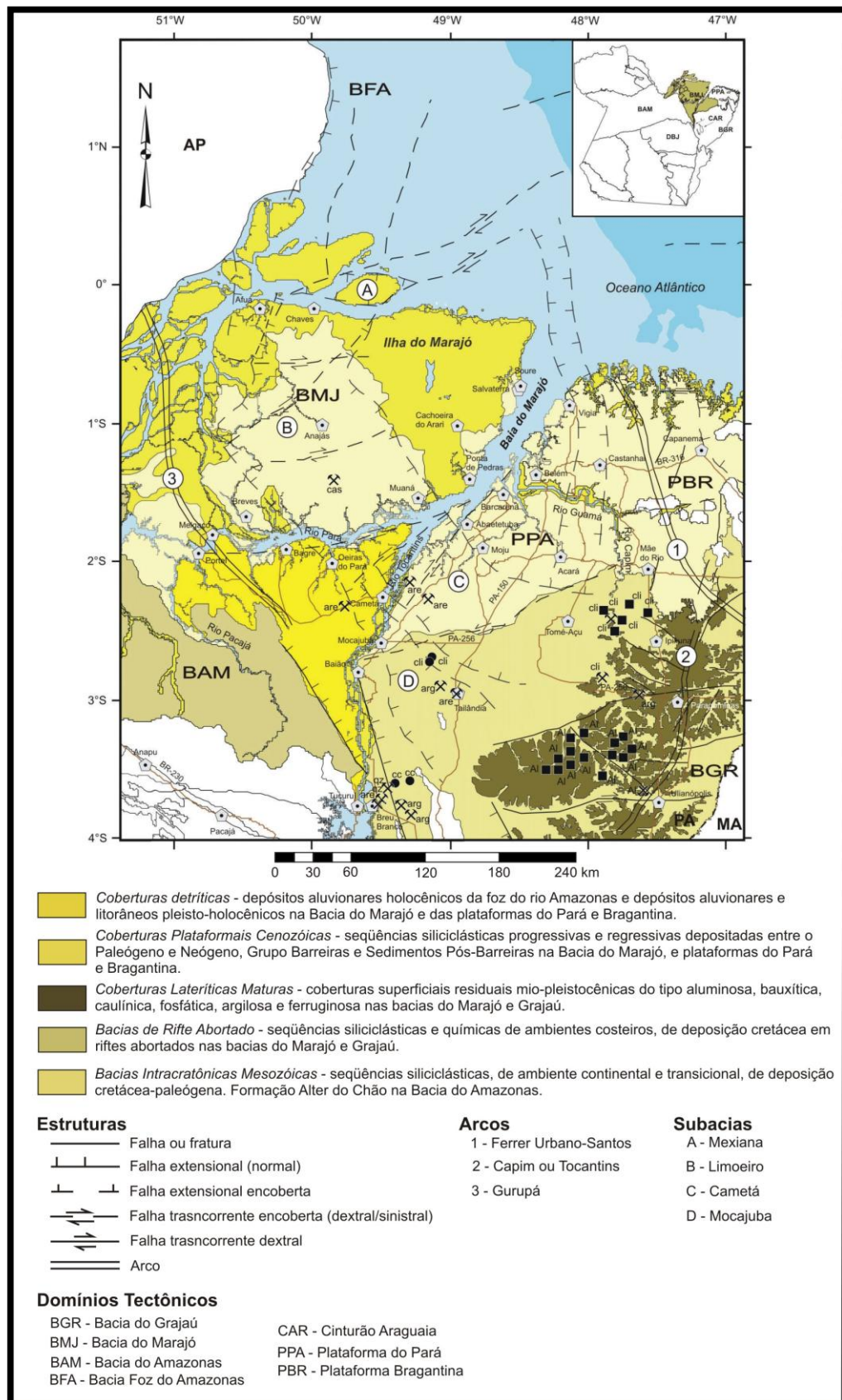


FIGURA 06 - Associações Tectônicas da Bacia do Marajó.
Fonte: Modificado de Vasquez *et al.*, (2008).

A diminuição dos movimentos transtensivos e a intensificação das transcorrências NE-SW dextrais, favoreceu o desenvolvimento de estruturas *pull-apart* como a Subacia de Mexiana. A transtração cenozóica relacionada às transcorrências NE-SW a E-W foi acompanhada de modesto abatimento de novas falhas normais NW-SE e reativação das anteriores, com importante deposição de sedimentos a partir do Paleoceno. Em termos globais, esta evolução tectônica estava relacionada à separação das placas Sul-Americana e Africana e abertura do Atlântico Equatorial (Vasquez *et al.*, 2008)

No cenário de evolução tectônica e paleográfica proposta por Costa *et al.*, (2002) para a Bacia do Marajó, o rifte pode ter-se iniciado durante o magmatismo Juro-Triássico, mas a sedimentação mais precoce da seqüência de rifte foi localizada. Os depósitos de leques aluviais e lacustres do Eocretáceo foram sucedidos por uma ampla sedimentação fluvial vinda principalmente de oeste e sudeste. Com a maturidade do rifte no Neocretáceo, os semi-grabens se tornaram simétricos, com sedimentação flúvio-deltáica, adelgçando para norte, de onde vinha uma transgressão marinha que marcou o começo da deposição da seqüência pós-rifte. Os sedimentos carregados pelo do rio Tocantins cobriram as sub-bacias de Mocajuba e Cametá. No Eoceno, a transgressão marinha alcançou o noroeste da bacia, mas com o soerguimento dos Andes, esta porção também recebeu sedimentos provenientes do rio Amazonas. A partir do Mioceno, a bacia sofreu subsidência em resposta à transtensão relacionada à neotectônica transcorrente dextral, o que resultou numa grande transgressão de mar raso (Mar Pirabas), acompanhada de sedimentação transicional ao longo da costa. Os depósitos quaternários dos rios Amazonas e Tocantins, sob a influência marinha, formaram uma planície flúvio estuarina e a Ilha do Marajó.

Na região das Sub-bacias de Cametá e da Bacia do Grajaú desenvolveram-se perfis lateríticos caulínicos e bauxíticos durante a peneplanização paleógena (Costa e Hasui, 1997; Bermeguy *et al.*, 2002).

Na borda ocidental da bacia, o delta do rio Tocantins progradou, depositando seqüências mio-pleiocênicas e depois seqüências pleisto-holocênicas que contribuíram na formação da Ilha do Marajó (Costa *et al.*, 2002; Bermeguy *et al.*, 2002).

CAPÍTULO 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SONDAGEM SPT

O *Standard Penetration Test* (SPT) ou Sondagem SPT é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação em praticamente todo o mundo. Esse tipo de sondagem teve seu primeiro relato no ano de 1902, onde o engenheiro Charles R. Gow, objetivando melhorar o processo de reconhecimento do subsolo para aplicação à engenharia de fundação, até então executado pelo processo de circulação de água ou de lavagem, introduziu o método de amostragem a seco (Folle, 2002).

O ensaio de SPT tem sido usado para inúmeras aplicações, permitindo a descrição de materiais, espessura e profundidade das camadas, medidas de resistência a penetração dinâmica, profundidade do nível d'água, previsão da tensão admissível de fundações diretas, previsão da capacidade de carga de fundações profundas, até correlações com outras propriedades geotécnicas.

As especificações dos equipamentos (FIGURA 07 e 08) à disposição para utilização nos ensaios estão de acordo com a NBR (Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) -6484/2001 (Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio) e a NBR 6484/1983 (Programação de Sondagem de Simples Reconhecimento), e são as seguintes:

- a) Torre com roldana;
- b) Tubos de revestimento de aço Schedule 40, com diâmetro nominal de 63,5 mm;
- c) Composição de perfuração ou cravação de aço Schedule 80, com diâmetro nominal de 25,4 mm e massa teórica de 3,23 kg/m;
- d) Trado concha com diâmetro de 100 mm;
- e) Trado helicoidal com diâmetro de 56 mm;
- f) Trépano de lavagem com largura de 59 mm e comprimento de 250 mm;
- g) Amostrador padrão, tipo Raymond, de corpo bipartido, com diâmetros externo de 50,8 mm e interno de 34,9 mm (FIGURA 09 e 10);
- h) Cabeça de bater de aço, com diâmetro de 83 mm e altura de 90 mm e massa de 3,5 kg;

- i) Martelo padronizado de ferro, provido de haste guia de aço e coxim de madeira dura, com massa total de 65 kg, para a cravação do amostrador;
- j) Baldinho para esgotar o furo;
- k) Medidor eletrônico de nível d'água, tipo "pio";
- l) Metro de balcão;
- m) Recipientes para amostras;
- n) Bomba d'água centrífuga motorizada;
- o) Caixa d'água ou tambor com divisória para decantação;
- p) Ferramentas gerais necessárias à operação da aparelhagem;
- q) Torquímetro Gedore, modelo R-350, com adaptador.

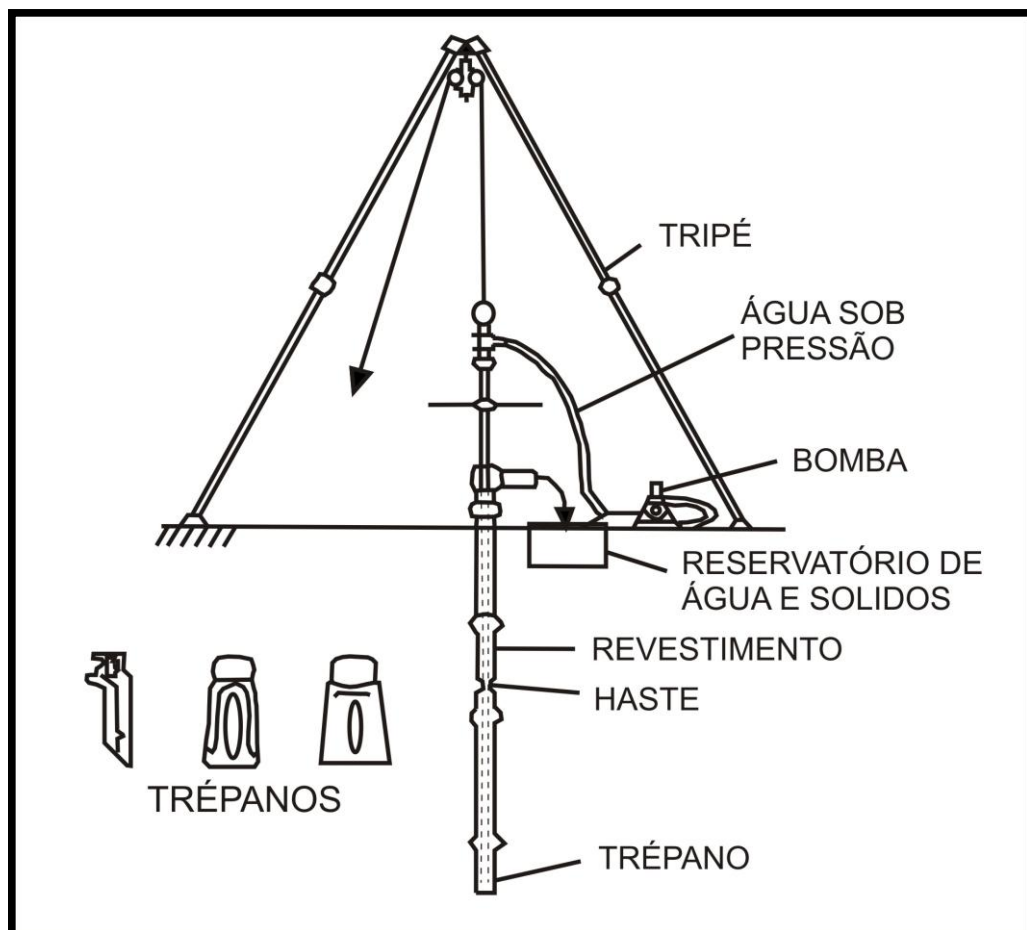


FIGURA 07 – Desenho esquemático dos equipamentos recomendados para a realização de ensaios SPT.

Fonte: NBR 6484/2001.



FIGURA 08 – Foto ilustrando o equipamento utilizado no furo de sondagem SPT-03, localizado na Rua Osvaldo de Caldas de Brito, esquina com a Rua Carlos de Carvalho.

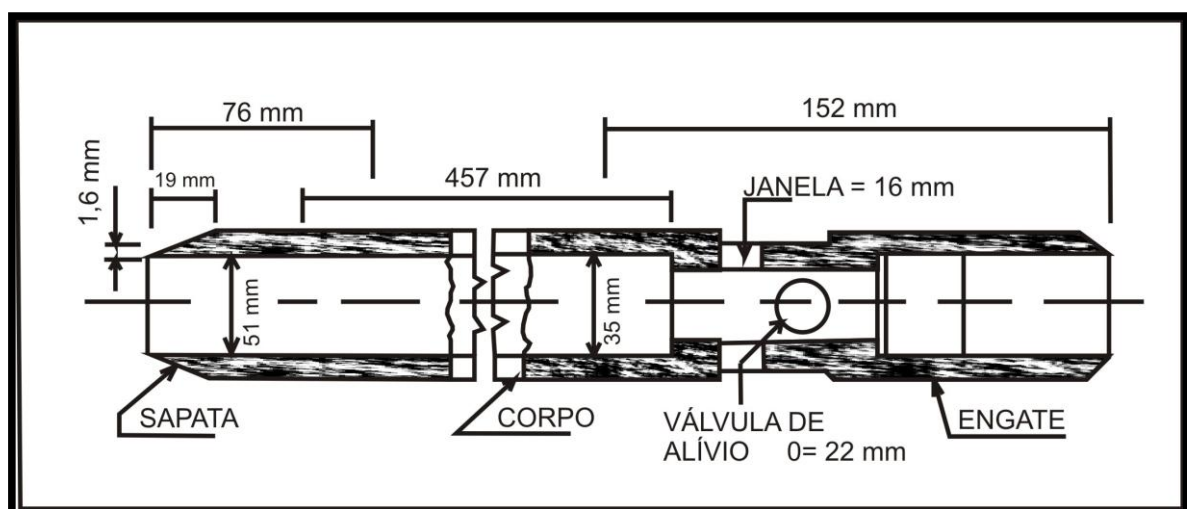


FIGURA 09 – Desenho esquemático do Amostrador de Raymond
Fonte: NBR 6484/2001.



FIGURA 10 – Foto do amostrador de Raymond no furo SPT-07 que foi utilizado na Rua Caripunas, entre Travessa Breves e Avenida Bernardo Saião.

O ensaio constituiu-se na aquisição de medidas de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração foi obtida por tradagem e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Amostras do solo foram coletadas a cada metro de profundidade por meio de amostrador padrão (tipo Raymond).

O procedimento de execução do ensaio consistiu na cravação deste amostrador por 45 cm, usando a queda livre de um martelo (FIGURA 11) com de peso de 65 kg, caindo a uma altura de 75 cm. O valor N_{spt} é o número de golpes necessário para fazer o amostrador penetrar 30 cm finais, após a cravação inicial de 15 cm (Folle, 2002). Esse procedimento de execução seguiu o padrão exibido na figura 12.



FIGURA 11 – Furo SPT-02 que foi acompanhado na Rua Osvaldo de Caldas Brito esquina com a Travessa Breves. Seta vermelha indicando o martelo utilizado em queda livre para penetração do amostrador.

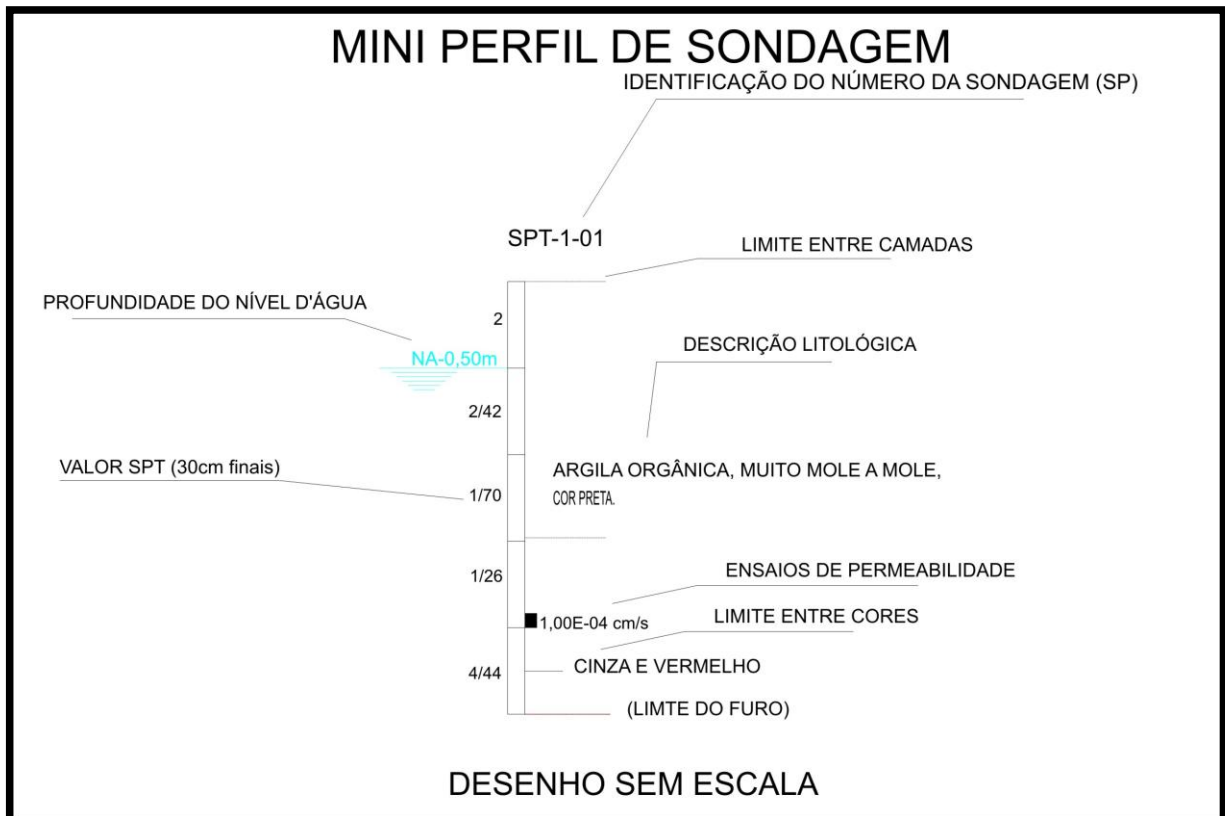


FIGURA 12 – Desenho esquemático do padrão de perfil adotado para a execução dos ensaios de sondagem à percussão e dos ensaios de permeabilidade.

A cravação do amostrador foi interrompida antes dos 45cm de penetração sempre que ocorreu: 1) em qualquer dos três segmentos de 15cm, o número de golpes ultrapassar 30; 2) um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação; 3) não se observar avanço do amostrador durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo; 4) quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador; 5) quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador e; 6) quando, em 5m sucessivos, obtiver 50 golpes para a penetração dos 45cm do amostrador.

O ensaio ainda deve obedecer a um número mínimo de sondagens por área, segundo a NBR 8036/1983 (Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para a fundação de edifícios – Procedimentos) (Tabela 02) e, a classificação dos solos deve obedecer a NBR 7250/82 (Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos) (Tabela 03).

Tabela 02 - Número mínimo de sondagens por área.

Número de Furos	Área em Projeção (m ²)
02	Até 200
03	200 à 400
04	400 à 600
05	600 à 800
06	800 à 1000
07	1000 à 1200
08	1200 à 1600
09	1600 à 2000
10	2000 à 2400
A critério	Acima de 2400

Fonte: NBR 8036/1983

Tabela 03 - Classificação dos solos de acordo com a NBR 7250/82, a partir dos valores de SPT

Solo	Índice de Resistência a Penetração	Designação
Areia e Silte Argiloso	< 4	Fofa
	5-8	Pouco compacta
	9-18	Medianamente compacta
	19-40	Compacta
	> 40	Muito compacta
Argila e Silte Argiloso	< 2	Muito mole
	3-5	Mole
	6-10	Média
	11-19	Rija
	> 19	Dura

Fonte: NBR 7250/1982

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Os estudos de investigação geotécnica, no caso referido, a sondagem a percussão, foram realizados buscando alcançar dados geológicos do substrato da subacia. A partir da interpretação dos resultados destes ensaios (coleta de amostras indeformadas, ensaios de permeabilidade nas camadas superficiais de solo seco e saturado), procurou-se delimitar espacialmente as unidades geológicas e determinar suas características e propriedades.

Os furos de investigação geotécnica na área de influência da subacia localizam-se conforme a distribuição no mapa abaixo (FIGURA 13).

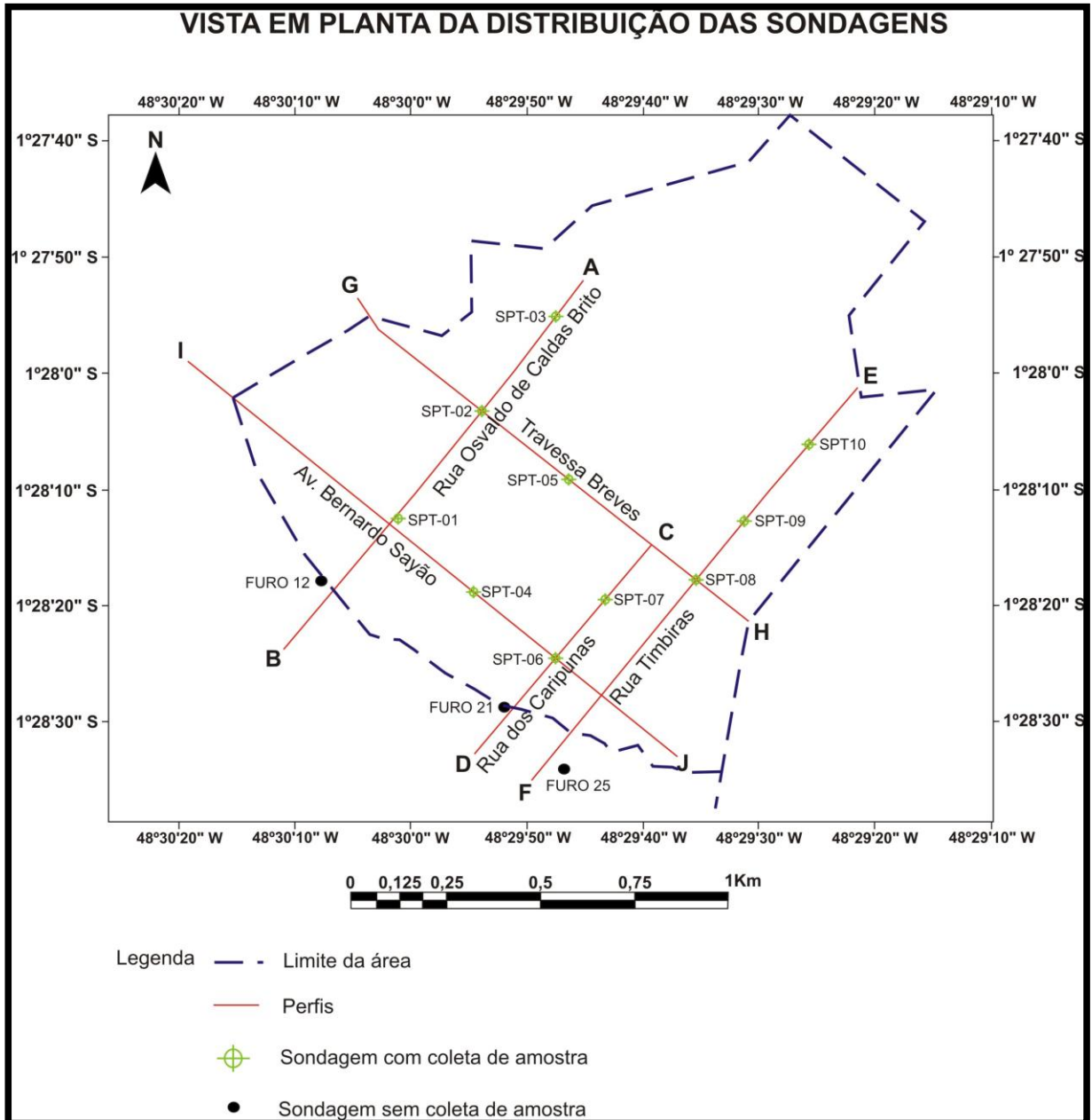


FIGURA 13 – Localização dos furos de investigação geotécnica da área de influência do projeto, exibindo o nome das principais ruas.

Além da investigação geotécnica realizada por sondagem, foram acompanhados ainda, a coleta e o armazenamento das amostras (FIGURA 14) para a realização do ensaio de permeabilidade, com o intuito da obtenção do coeficiente de permeabilidade dos materiais geológicos.



FIGURA 14 - Armazenamento das amostras de solo do furo de sondagem SPT-02 que foram coletadas para a realização dos ensaios de permeabilidade.

De forma geral, os sedimentos quaternários inconsolidados são formados, predominantemente, por argilas, que quase sempre englobam lentes e camadas de silte e areia, e cujos contatos são bruscos e/ou gradacionais, tanto vertical como horizontalmente. A distribuição espacial desses corpos mostra-se complexa, a qual se atribui às condições ambientais de deposição, provavelmente de planície lamosa. (Ver FIGURAS 22, 23, 24, 25 e 26).

A análise das sondagens e das seções geológico-geotécnicas indica que o subsolo da subacia é constituído principalmente por argilas, siltes e areias, nas mais variadas misturas. Predominam espessas camadas de argilas contendo no seu interior lentes e/ou camadas de areia.

Os sedimentos considerados do quaternário sub-recente são silto-argilosos com fragmentos lateríticos, ocorrendo em profundidade nos furos SPT-02 (FIGURA 15) e SPT-03 (FIGURA 16). Mais superficialmente, ocorre ainda no furo SPT-10 (FIGURA 17), onde há material argilo-siltoso com fragmentos lateríticos.

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES S. P. T.	CONSI- TÊNCIA* OU COMP- CIDADE**	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN. CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO SPT-02	
10	20	30	40	50						COTA 5,778	DATA DE INICIO 27/03/09 COORD. N 9.837.671,77
DESCRIZAÇÃO DA CAMADA										N.A.(m)	
1/25					1	FOFA**				VERMELHO	1,20
1/35					2			2,12	CINZA ESCURO	ATERRO SILTE ARENOSO	
3/34					3	MOLE*		3,00		CINZA	ARGILA SILTOSA
2/40					4	MUITO MOLE*		3,87			
4					5						
4					6						
4					7	MOLE*				CINZA ESCURO	SILTE ARGILOSO
2/24					8						
2/24					9			8,74			
2/26					10	MUITO MOLE*					
2/21					11	MOLE*					
2					12	MUITO MOLE*				VARIEGADO	ARGILA SILTOSA COM FRAGMENTOS LATERÍTICOS
2					13						
6					14	MÉDIA*		14,00			
6					15					CINZA ESCURO	ARGILA ORGÂNICA
3/26					16	MOLE*		15,48			Limite da Sondagem
					17						
					18						
					19						
					20						
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min.		OBS. :			
1	20 MIN	1,20	T. Cavadeira	0,00	3,00	Profun. de Início (m) : --					
2	24 HRS	1,15	T. Espiral	--	--	Estagio 1 (cm) : --					
3	--	--	Lavagem	3,55	15,48	Estagio 2 (cm) : --					
						Estagio 3 (cm) : --					
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO											
Interessado : Fabrício Araújo da Silva											
Obra : Trabalho de Conclusão de Curso											
Local : Tv. de Breves esquina com Rua Osvaldo de Caldas Brito, Belém - PA											
Esc. : 1 : 100			Des. : Ian Paes			Data : 28/03/2007		Relatório nº :		Folha :	
											Resp. Técnico

FIGURA 15 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-02, ilustrando em profundidade a camada argilo-siltosa com fragmentos lateríticos.

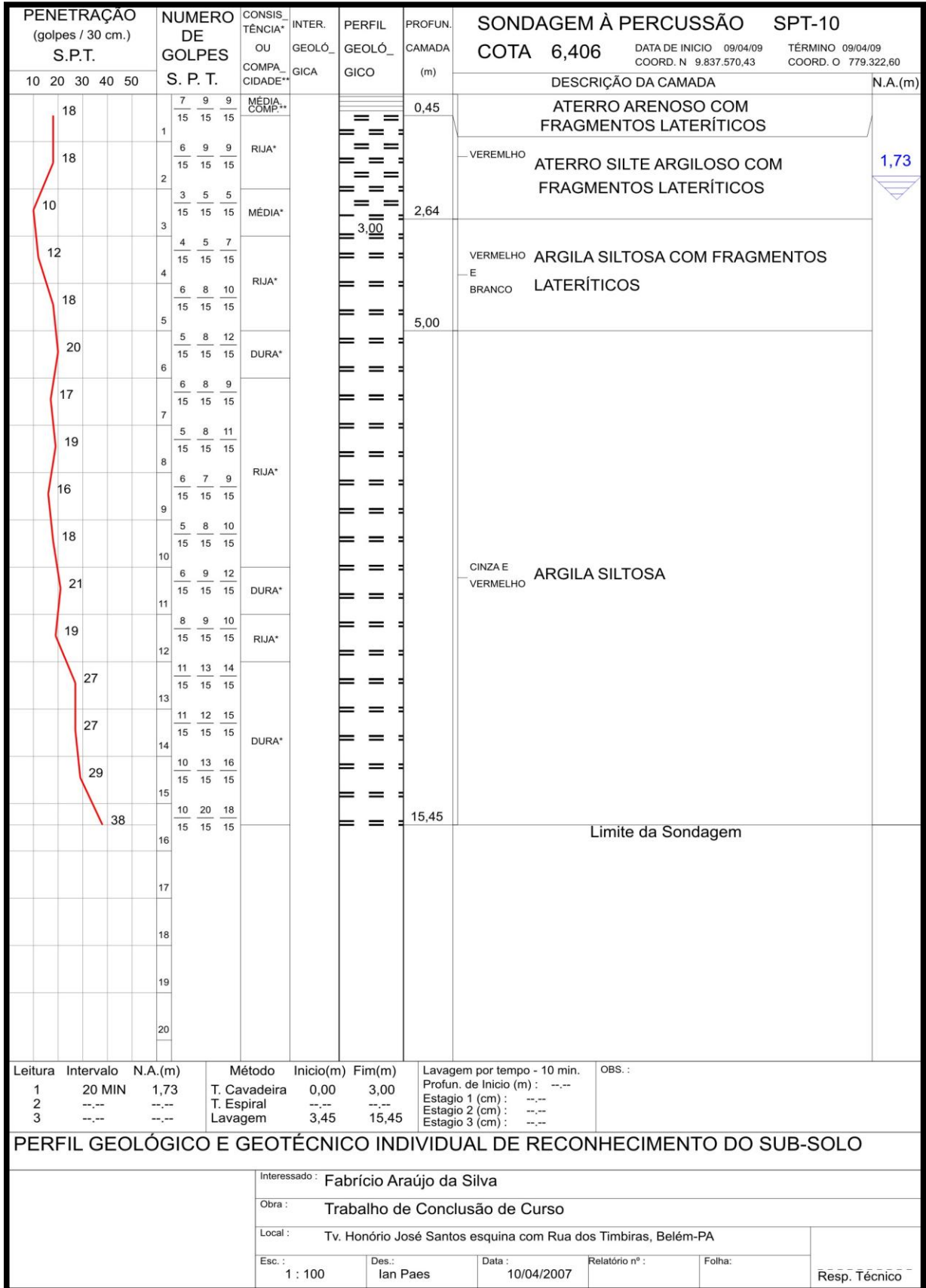


FIGURA 17 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-10 ilustrando, mais superficialmente, a camada argilo-siltosa rica em matéria orgânica.

Pacotes de argilas ricas em matéria orgânicas, com areias e siltes, chegam a atingir espessuras significativas, como a observada no furo no SPT-07 (FIGURA 18) com 12,65 metros (argilo-arenoso rica em matéria orgânica) e nos furos SPT-06 (FIGURA 19) e SPT-08 (FIGURA 20) com 11, 87 metros e 10,78 metros (argila rica em matéria orgânica), respectivamente.

Nas terras emersas, dentro dos limites investigados, pequenos horizontes ou lentes de areia fina, pouco expressiva, com espessuras sub-métricas, podem ser encontradas (SPT-07 / profundidade 13,75 a 14,20 metros – FIGURA 18). No entanto, as demais areias finas, argilosas e/ou siltosas, são predominantes e chegam a atingir espessuras significativas (SPT-04 / profundidade 10,00 a 13,91 metros – FIGURA 21). Observa-se que em outras sondagens efetuadas no leito do Rio Guamá foram encontradas camadas de areia com espessuras muito significativas, diversas vezes excedendo a 10 metros (sondagens executadas em meados de 2006).

PENETRAÇÃO (golpes / 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES S. P. T.	CONSI- TÊNCIA* OU COMPA- CIDADE**	INTER. GEOLO- GICA	PERFIL GEOLO- GICO	PROFUN- CAMADA (m)	SONDAGEM À PERCUSSÃO SPT-04																																																													
10	20	30	40	50						COTA 5,453	DATA DE INICIO 03/04/09 COORD. N 9.837.202,79	TÉRMINO 03/04/09 COORD. O 778.434,07																																																											
										DESCRICÃO DA CAMADA	N.A.(m)																																																												
					1	MUITO MOLE*			0,55	VERMELHO	ATERRO SILTE ARGILOSO COM FRAGMENTOS LATERÍTICOS																																																												
					4	MOLE*			1,64	PRETO	ATERRO ORGÂNICO	1,90																																																											
					2																																																																		
					3				3,00																																																														
					0/ 55	MUITO MOLE*				CINZA ESCURO	ARGILA ORGÂNICA																																																												
					0/ 45																																																																		
					5				4,81																																																														
					3	FOFA**																																																																	
					5/ 24	POUCO COMP.**																																																																	
					2	FOFA**					SILTE ARENOSO																																																												
					5																																																																		
					5				10,00	CINZA ESCURO																																																													
					5	POUCO COMP.**																																																																	
					6																																																																		
					9	MÉDIA COMP.**					AREIA FINA SILTOSA																																																												
					8	POUCO COMP.**																																																																	
					14	MÉDIA*			13,91																																																														
					2	MUITO MOLE*				CINZA ESCURO	ARGILA ORGÂNICA COM LENTES DE AREIA																																																												
					1/ 25				15,55																																																														
										Limite da Sondagem																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Leitura</th> <th>Intervalo</th> <th>N.A.(m)</th> <th>Método</th> <th>Início(m)</th> <th>Fim(m)</th> <th>Lavagem por tempo - 10 min.</th> <th>OBS. : 1. Sondagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>20 MIN</td> <td>1,90</td> <td>T. Cavadeira</td> <td>0,00</td> <td>2,00</td> <td>Profun. de Início (m) : --</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>T. Espiral</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>Estagio 1 (cm) : --</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>Lavagem</td> <td>2,45</td> <td>15,55</td> <td>Estagio 2 (cm) : -- Estagio 3 (cm) : --</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min.	OBS. : 1. Sondagem	1	20 MIN	1,90	T. Cavadeira	0,00	2,00	Profun. de Início (m) : --		2	--	--	T. Espiral	--	--	Estagio 1 (cm) : --		3	--	--	Lavagem	2,45	15,55	Estagio 2 (cm) : -- Estagio 3 (cm) : --																													
Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min.	OBS. : 1. Sondagem																																																																
1	20 MIN	1,90	T. Cavadeira	0,00	2,00	Profun. de Início (m) : --																																																																	
2	--	--	T. Espiral	--	--	Estagio 1 (cm) : --																																																																	
3	--	--	Lavagem	2,45	15,55	Estagio 2 (cm) : -- Estagio 3 (cm) : --																																																																	
PERFIL GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO																																																																							
<table border="1"> <tr> <td colspan="12">Interessado : Fabício Araújo da Silva</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Obra : Trabalho de Conclusão de Curso</td> </tr> <tr> <td colspan="12">Local : Rua dos Mundurucus esquina com Av. Bernardo Sayão, Belém-PA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Esc. : 1 : 100</td> <td colspan="3">Des. : Ian Paes</td> <td colspan="2">Data : 05/04/2007</td> <td colspan="2">Relatório nº :</td> <td colspan="2">Folha :</td> </tr> <tr> <td colspan="11"></td> <td>Resp. Técnico</td> </tr> </table>												Interessado : Fabício Araújo da Silva												Obra : Trabalho de Conclusão de Curso												Local : Rua dos Mundurucus esquina com Av. Bernardo Sayão, Belém-PA												Esc. : 1 : 100			Des. : Ian Paes			Data : 05/04/2007		Relatório nº :		Folha :													Resp. Técnico
Interessado : Fabício Araújo da Silva																																																																							
Obra : Trabalho de Conclusão de Curso																																																																							
Local : Rua dos Mundurucus esquina com Av. Bernardo Sayão, Belém-PA																																																																							
Esc. : 1 : 100			Des. : Ian Paes			Data : 05/04/2007		Relatório nº :		Folha :																																																													
											Resp. Técnico																																																												

FIGURA 21 – Perfil geológico-geotécnico de sondagem à percussão no furo SPT-04, ilustrando a espessura significativa da camada de areia fina.

Dessa forma, pode-se notar um possível zoneamento da subacia, em que ocorrem areias na porção a jusante (em relação do Rio Guamá) e na da faixa marginal. Nas seções AB (FIGURA 22), CD (FIGURA 23) e IJ (FIGURA 24) ocorrem diversos horizontes de areia, enquanto que nas seções EF (FIGURA 25) e GH (FIGURA 26) predominam argilas. A seção IJ (FIGURA 24) com ocorrência de horizontes de areia na sua porção média-jusante e argila na porção média-montante ilustra bem essa distribuição.

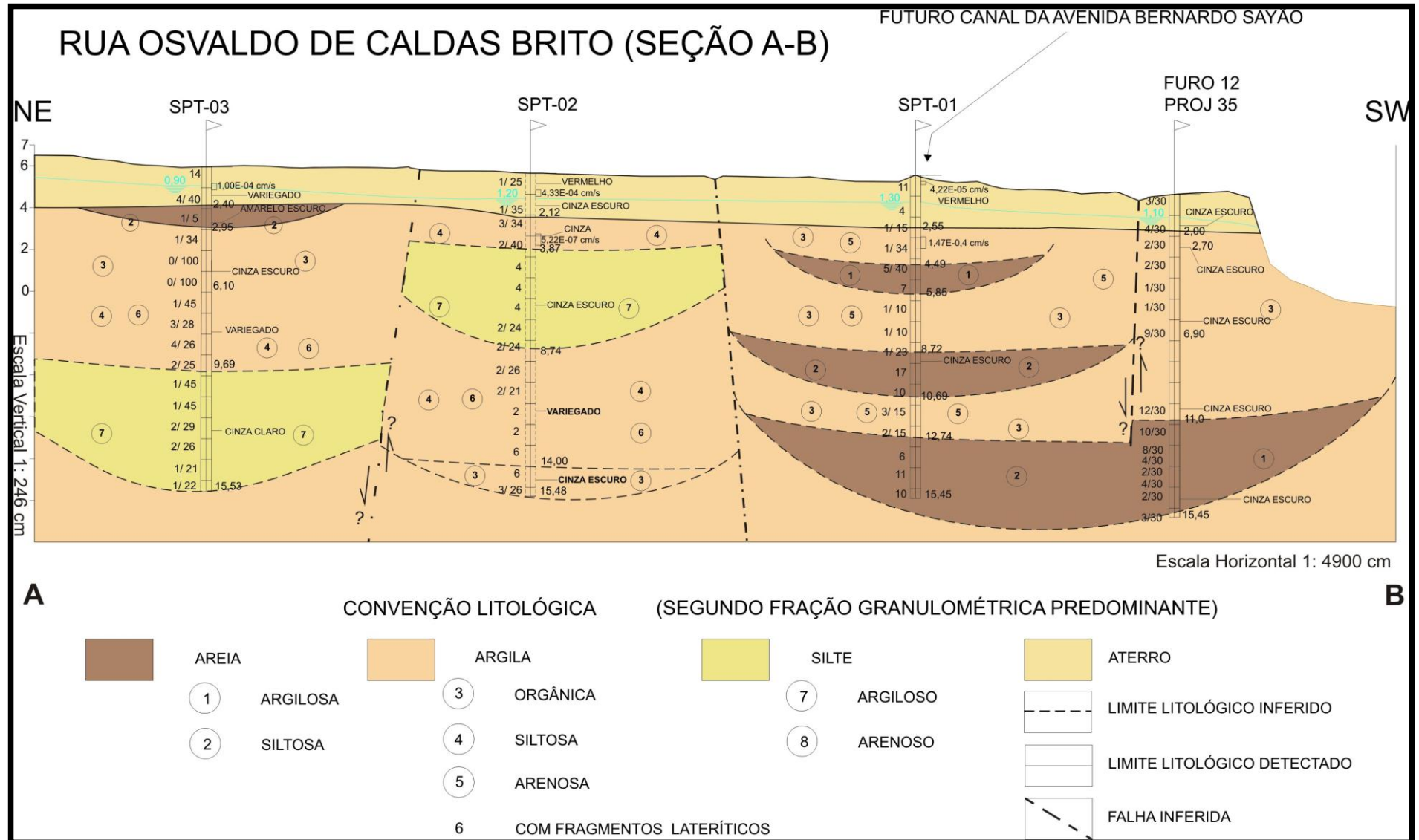


FIGURA 22 – Seção geológica A-B na Rua Osvaldo Caldas de Brito ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem.

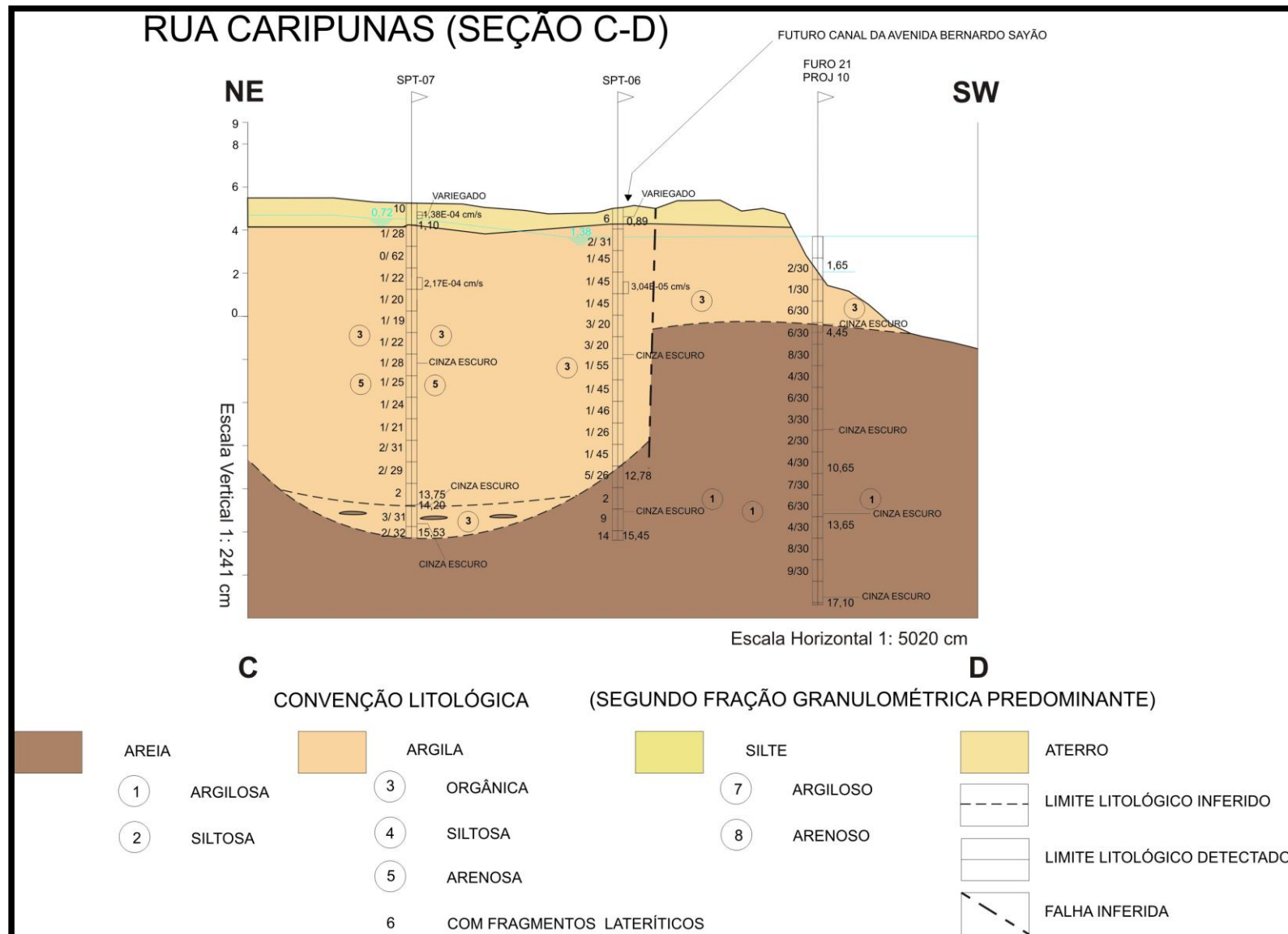


FIGURA 23 – Seção geológica C-D na Rua Caripunas ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem.

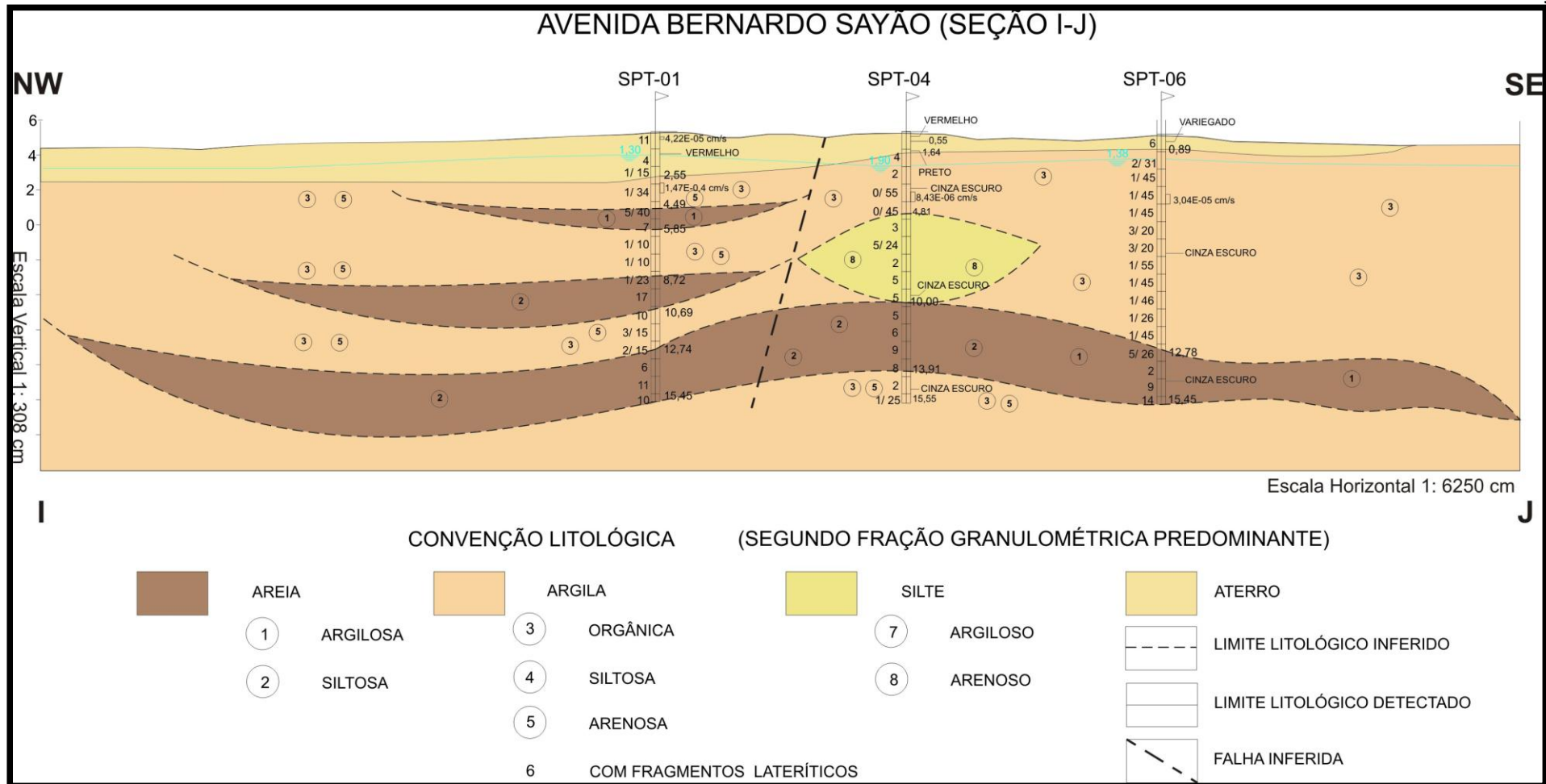


FIGURA 24 – Seção geológica I-J na Avenida Bernardo Sayão ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem.

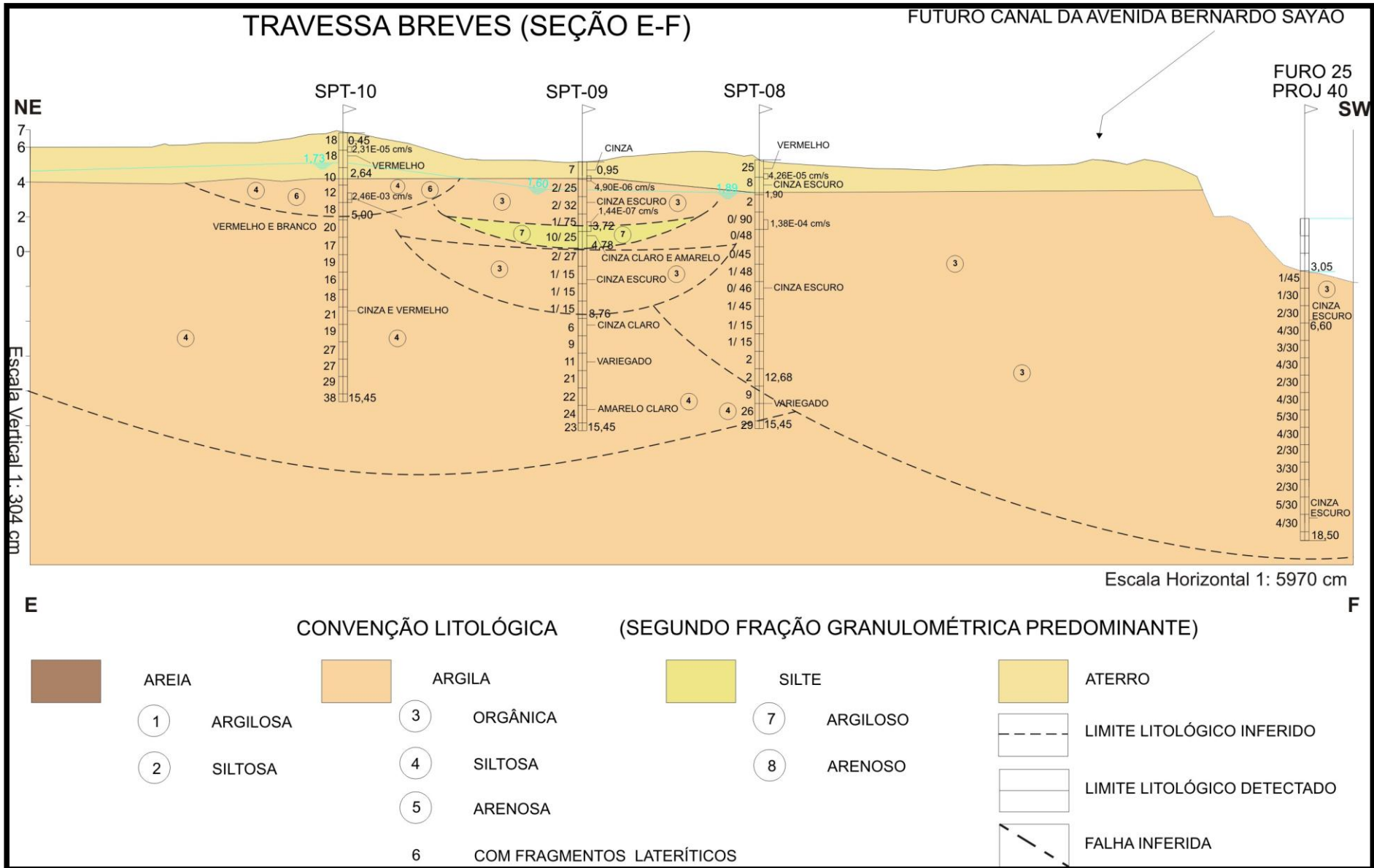


FIGURA 25 – Seção geológica E-F na Travessa Breves ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem.

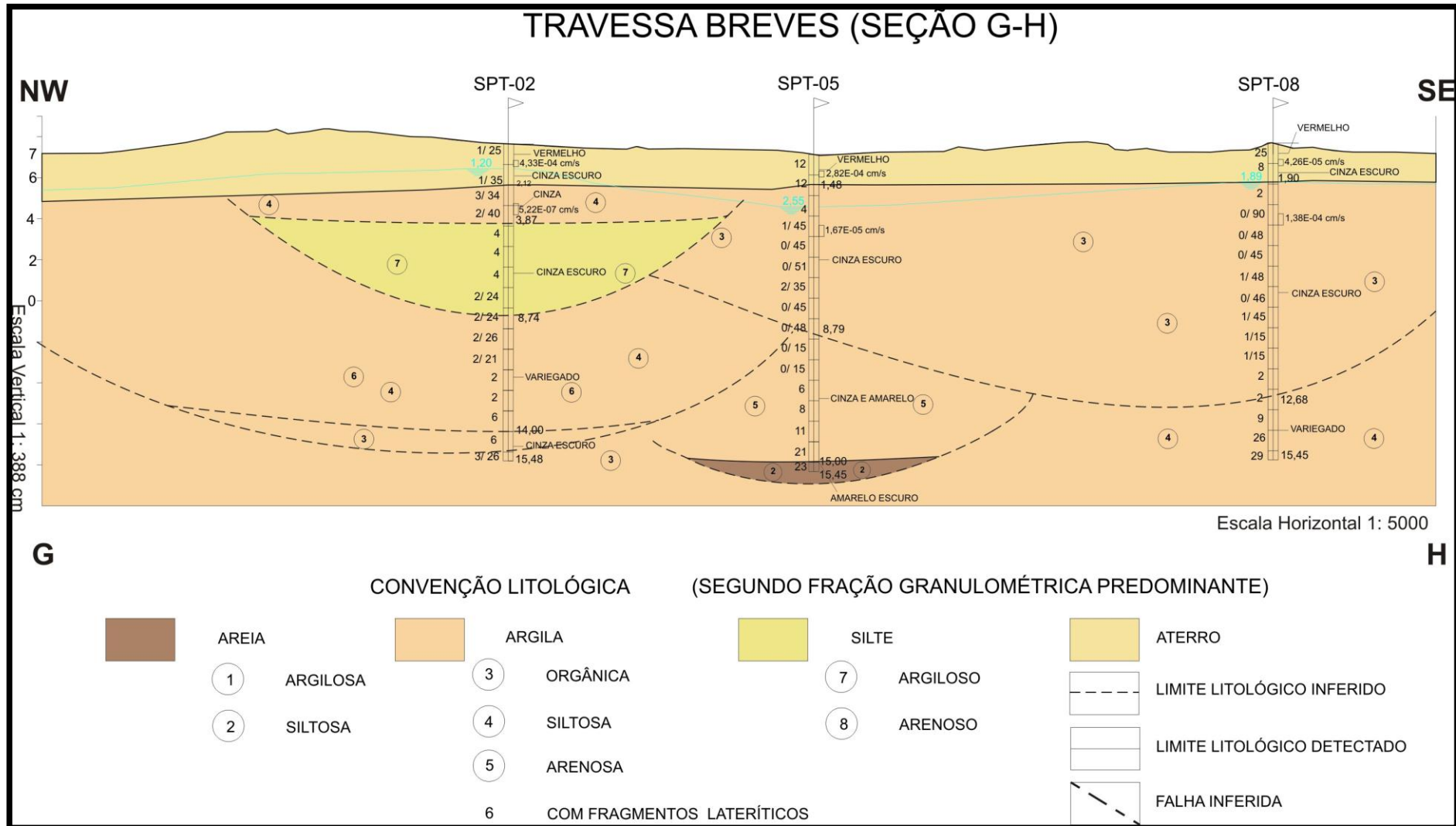


FIGURA 26 – Seção geológica G-H na Travessa Breves ilustrando o arranjo deposicional e o comportamento dos materiais geológicos em subsuperfície. A linha em azul indica o nível da água e a profundidade da mesma em cada furo de sondagem

O aterro, como uma unidade antrópica, está assentado sobre a superfície natural de planície de inundação do Rio Guamá, principalmente e, conforme informação obtida das sondagens de reconhecimento indica se tratar de uma camada extensa com espessura variável, crescente de montante para jusante, como demonstrada na seção geológico-geotécnica IJ (FIGURA 24). Também, pode-se notar que as espessuras são crescentes de forma irregular do interior para a margem; adicionalmente, a comparação das seções AB (jusante) e EF (montante) indicam que as espessuras tendem a crescer, neste caso, de montante para jusante. Os materiais são constituídos das mais variadas granulometrias de solos e fragmentos lateríticos, de restos de construção, assim como também de aterro rico em matéria orgânica.

A integração dos resultados dos ensaios geotécnicos com o conhecimento que se possui no regional, indica que o substrato da subacia é de camadas heterogêneas de aterro assentadas sobre unidades, predominantemente, ricas em matéria orgânica e argilo-siltosa, atingindo espessuras de até 2,55 metros, de acordo com o furo de sondagem SPT-01 (FIGURA 27). Foi constatado no furo SPT-10 (FIGURA 17), um espessura de 5 metros de aterro, bem acima da média encontrada, o que nos remete a inferência da possibilidade de no local haver uma depressão, possivelmente um (paleo) canal. (Tabela 04).

O aterro é constituído predominantemente por material silto-arenoso, com fragmentos lateríticos. Entretanto, são ainda encontradas camadas de aterro rico em matéria orgânica, com muitos restos de materiais de construção, e ainda silto-argiloso. Apresentam estados de resistência variando de fofo a medianamente compacto em solos areno-argilosos e de muito mole a mole, às vezes rijo em solos finos como observados nos furos de sondagem SPT-05 (FIGURA 28).

Os litotipos constituídos de areia e/ou silte arenoso, ou mesmo de argila, às vezes, encontra-se em estado de maior resistência em maiores profundidades (8 a 10 metros), porém, exceções foram verificadas em passagens litológicas nas sondagens SPT-09 (FIGURA 29) e SPT-10 (FIGURA 17), respectivamente, nas profundidades de 4 e 5 metros.

Os canais de drenagens existentes atualmente, apresentam profundidades variáveis entre 1 e 3 metros, aproximadamente, indicando que o fundo dos canais deve atingir as camadas argilosas (muito mole e mole) e que seus taludes marginais são constituídos de aterro, ora em condições semi-naturais, ora conformados por pequenas contenções de concreto.

Tabela 04 - Dados geotécnicos e hidrogeológico do horizonte de aterro na subacia da Estrada Nova.

Furo	Descrição dos Materiais	Consistência	Compacidade	Nível D'água (Leitura)
SPT-01	0 - 2,55 m: Aterro arenoso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 1,0 m: média; 1,0 - 2,55 m: fofa.	1,30 m – 20 min. 1,50 m – 24 horas.
SPT-02	0 - 2,12 m: Aterro silte arenoso.	--	0 - 2,12 m: fofa.	1,20 m – 20 min. 1,15 m – 24 horas.
SPT-03	Aterro areno-argiloso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 1,0 m: média; 1,0 - 2,0 m: fofa; 2,0 - 2,95 m: pouco compacta.	0,90 m – 20 min. 0,70 m -24 horas
SPT-04	0 - 0,55 m: aterro silte argiloso com fragmentos lateríticos; 0,55 - 1,64 m: aterro orgânico.	0,0 - 0,55 m: muito mole. 0,55 - 1,64 m: mole.	--	1,90 m – 20 min.
SPT-05	0 - 1,48 m: aterro silte argiloso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 1,48 m: rija.	2,55 m – 20 min.
SPT-06	0 - 0,89 m: aterro silte arenoso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 0,89 m: pouco compacta.	1,38 m – 20 min.
SPT-07	0 - 1,10 m: aterro silte arenoso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 1,0 m: média; 1,0 - 1,10 m: fofa.	0,71 m – 20 min. 0,41 m – 24 horas
SPT-08	0 - 1,90 m: aterro silte arenoso, vermelho e cinza escuro.	--	0 - 1,0 m: compacta; 1,0 - 1,90 m: média.	1,89 m - 20 min.
SPT-09	0 - 0,95 m:	--	0 - 0,95 m: pouco	1,60 m – 20 min.

	aterro silte arenoso com restos de construção.		compacta.	
SPT-10	0 - 0,45 m: aterro arenoso com fragmentos lateríticos. 0,45 a 2,64m: aterro silte argiloso com fragmentos lateríticos.	--	0 - 0,45 m: média; 0,45 - 2,0 m: rija; 2,0 - 2,64 m: média.	1,73 m – 20 min.

4.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

O arcabouço litoestrutural das unidades deve exercer influência nas condições hidrogeológicas, principalmente na distribuição de unidades permeáveis e impermeáveis que delimitam variados tipos de aquíferos: livres, semi-livres e confinados.

Na área de estudo os aquíferos livres e semi-livres são os que se caracterizam por permitir interpretações como aluviões e coberturas detrítico-lateríticas. Esses litotipos são heterogêneos, principalmente quando estão próximos às bacias de inundação. Seus litotipos variam de areia, silte e, principalmente, areia rica em matéria orgânica. Sua espessura é muito variável, oscilando de 8 a 30 metros, não apresentando boa permeabilidade, entretanto, são muito degradados pela população. Suas águas apresentam elevado teor de ferro e é evidente a contaminação por nitrato, nitrito e amônia.

Os resultados de ensaios de permeabilidade, executados em furos de sondagens (Tabela 05), nos horizontes mais superficiais de aterro (antrópico) e de solo natural argiloso rico em matéria orgânica indicam que: 1) o aterro possui permeabilidade entre $1,00 \times 10^{-04}$ a $4,26 \times 10^{-05}$ cm/s, concluindo ser um material silto-arenoso, e 2) o solo argiloso natural possui permeabilidade entre $2,46 \times 10^{-03}$ e $5,22 \times 10^{-07}$ cm/s, valores bastante variáveis, considerando a predominância de argila rica em matéria orgânica nesse litotipo, porém os resultados podem indicar a presença de níveis areno-siltosos, plenamente aceitáveis, levando em consideração o ambiente deposicional local. O valor $2,46 \times 10^{-03}$ (SPT-10) foi obtido em solo argilo siltoso com fragmentos lateríticos, suscitando dúvidas quando sua gênese natural ou

antrópica (aterro).

Tabela 05 - Valores de permeabilidade obtidos nos furos de sondagens investigados.

Furo de Sondagem	Ensaio de Permeabilidade			
	Ensaio 1 – Litotipo: aterro		Ensaio 2 – Litotipo: argilo-arenoso rico em matéria orgânica [1], argila rica em matéria orgânica [2], argila siltosa [3], argila siltosa com fragmentos lateríticos [4].	
	Profundidade do trecho de ensaio	Permeabilidade cm/s	Profundidade do trecho de ensaio	Permeabilidade cm/s
SPT-01	0,30 – 0,45	$4,22 \times 10^{-05}$	3,45 – 4,00 [1]	$1,47 \times 10^{-05}$
SPT-02	0,80 – 1,10	$4,33 \times 10^{-04}$	3,45 – 4,00[3]	$5,22 \times 10^{-07}$
SPT-03	0,80 – 1,10	$1,00 \times 10^{-04}$	--	--
SPT-04	--	--	3,45 – 4,00 [2]	$8,43 \times 10^{-06}$
SPT-05	0,80 – 1,10	$2,82 \times 10^{-04}$	3,45 – 4,00 [2]	$1,51 \times 10^{-05}$
SPT-06	--	--	3,45 – 4,00 [2]	$3,04 \times 10^{-06}$
SPT-07	0,40 – 0,70	$1,38 \times 10^{-04}$	3,45 – 4,00 [1]	$2,17 \times 10^{-04}$
SPT-08	0,80 – 1,10	$4,26 \times 10^{-05}$	3,45 – 4,00 [2]	$1,38 \times 10^{-04}$
SPT-09	0,80 – 1,10	$4,90 \times 10^{-06}$	3,45 – 4,00 [2] [3]	$1,44 \times 10^{-07}$
SPT-10	0,80 – 1,10	$2,31 \times 10^{-05}$	3,45 – 4,00 [4]	$2,46 \times 10^{-03}$

4.3 CONSIDERAÇÕES EXTRAS ACERCA DOS CANAIS DE DRENAGEM DA SUBACIA

Considerando-se os aspectos geológico-geotécnicos e hidrogeológicos que atuam sobre os canais na subacia, observa-se que os canais de drenagem (FIGURA 28) estão diretamente afetados pelo regime de maré da Baía do Gotejara e que a oscilação do nível da água influi diretamente o fluxo de água subterrânea, principalmente no horizonte do aterro.



FIGURA 30 – Foto ilustrando as condições do canal de drenagem da Rua Caripunas decorrente do efeito antrópico. As setas vermelhas indicam a acumulação de dejetos às margens do canal.

Para que haja medidas preventivas ou reparadoras dos canais, os técnicos de engenharia que atuaram no projeto da Subacia da Estrada Nova conceberam três tipos de tratamento dos taludes marginais 1) Tipo Natural, no qual os taludes são conformados em solo argilo-arenoso compactado na inclinação 1,5 H : 1 V com proteção superficial através do plantio de gramíneas, utilizando uma manta de biotêxtil para fixação e de germinação. Adicionalmente, grampos de fixação devem ser introduzidos no conjunto manta-solo produzindo melhor estabilidade. No limite da seção molhada, uma contenção de pontaletes de madeira (altura variando entre 1,0 a 1,5 metros) introduzidos no solo, lado a lado, deve conformar o talude de solo, evitando o seu movimento durante as oscilações da maré. No caso de locais onde apenas ocorre remanso, propuseram talude de solo compactado e regenerado; 2) Tipo Colchão Gabião, em que os taludes possuem inclinação 1 H : 1 V, as estruturas de colchão gabião devem ser assentadas sobre solo compactado revestido com manta geotêxtil. O conjunto é fixado por grampos metálicos e pela extensão de tela

de ancoragem sob o pavimento. A ligação entre a tela metálica do colchão gabião e a tela metálica de ancoragem se dá por meio de costurada. A porção não molhada deve ser argamassada produzindo uma superfície uniforme, permitindo uma fácil limpeza e manutenção e 3) Tipo Placa, onde os taludes têm uma inclinação 1 H : 1 V. Este tipo é composto por um conjunto de pré-moldados armado, constituído pela placa de concreto com cabeça para fixação e a guia de ancoragem disposta segundo a superfície final do terrapleno. As placas são de comprimento variável, em função da altura do talude marginal, devendo ser dispostas lado a lado permitindo regularizar e proteger a face do talude. Furos de alívio e grampos de fixação devem ser dispostos na face plana. Na parte da ancoragem, visando à proteção contra a fácil remoção, os técnicos sugeriram uma camada de acabamento.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As características texturais das unidades geológicas investigadas em subsolo e sua complexa distribuição, podem estar relacionadas à ambiente de estuário protegido, trabalhado maré. Poderiam corresponder assim tanto a várzeas quanto a paleomangues. Não se obtiveram dados paleontológicos, indicativos de salinidade, para corroborar uma ou outra possibilidade

As condições reinantes nesse ambiente incluem a incidência dos efeitos de correntes bidirecionais, além daquela imposta pelo curso fluvial, possibilitando oscilações consideráveis da massa d'água em ausência de ação de ondas mais severas. Esse ambiente, de estuário protegido, produz expressivos depósitos lamosos, que compreendem sucessões de silte, argila e por vezes areia fina, cuja frequência não se permite inferir a partir dos furos de sondagem, contudo certamente são cíclicas, posto que se verifica a intercalação de leitos lamosos e arenosos ao longo da seção estratigráfica.

Como os dados trabalhados são restritos aquilo que forneceu as sondagens, e estas são na maioria dos casos oriundas de percussão, não foi possível estabelecer subambientes nessas planícies lamosas. Não obstante, baseado apenas nos poucos registros litoestratigráficas é razoável supor que pudessem tratar-se de uma planície de lamosa, cortada por numerosos canais. Nas regiões em que se inferiu como de canais, notou-se que estes algumas vezes apresentam a sua base marcada por horizontes de fragmentos lateríticos, encimados por areia e recobertos

no topo por espessos pacotes lamosos comumente com muita matéria orgânica.

Destaca-se a variação de posição espacial de alguns dos pacotes arenosos, na direção de “Z”, indicando deslocamentos neste sentido, pelo menos em parte. Outro aspecto conspícuo é a variação de espessura muito brusca de alguns pacotes, nas direções perpendiculares a “Z”. Tal quadro geométrico pode apontar para a atuação de processos direcionais na definição da arquitetura geométrica desses litossomas, em situação pós-sedimentação.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

As investigações geotécnico-geológicas realizadas nas unidades estratigráficas contidas no subsolo da região sudoeste de Belém, conduzem as seguintes conclusões:

- ✓ Os materiais investigados tratam-se na maioria dos casos de sedimentos inconsolidados os quais são constituídos, predominantemente, por argilas, que quase sempre englobam lentes e camadas de silte e areia, em contatos ora bruscos ora gradacionais, tanto vertical como horizontalmente. A distribuição espacial desses corpos mostra-se complexa, a qual se atribui na quase totalidade às condições ambientais reinantes no tempo da deposição;
- ✓ É possível notar um ligeiro zoneamento da subacia, posto que existe a tendência a aumentar o conteúdo de areias na porção W da área estudada, assim como ao Sul da mesma;
- ✓ Os sedimentos compostos por areia e argila, comumente depositados alternadamente, foram depositados de maneira a constituir uma planície lamosa, cortada por canais;
- ✓ Nas porções das seções geológicas interpretadas como canais, as areias tendem a depositar-se nas porções mais inferiores, de formas por vezes côncavas, e os siltes e argilas nas porções mais superiores, indicando de certa forma um “finning-up”, face ao decréscimo de energia em direção ao topo. Nas zonas interpretadas como de mais baixa energia, os sedimentos são essencialmente argilosos, havendo pequenas lentes de areia e silte;
- ✓ A presença de matéria orgânica é mais conspícua em sedimentos argilosos e menos aparente em sedimentos arenosos;
- ✓ A formação dos pacotes lamosos decorreu de períodos de inundação, no qual a energia das correntes foram muito baixas ou quase nula, permitindo assim a deposição dos sedimentos em suspensão;
- ✓ O arcabouço geológico da região foi amplamente conduzido e influenciado pelas elevações eustáticas em decorrência de fatores climáticos, e possivelmente também de fatores tectônicos (Neotectônicos), com atuação de fenômenos de soerguimento e subsidência, associados a inferências de falhas em subsuperfície;
- ✓ O aterro está assentado sobre unidades, predominantemente, ricas em

matéria orgânica e argilo-siltosa (superfície natural de planície de inundação do Rio Guamá) e, conforme informação obtida das sondagens de reconhecimento indica se tratar de uma camada extensa com espessura variável, crescente de montante para jusante;

- ✓ O solo argiloso natural possui permeabilidade bastante variada, dispondo-se entre $2,46 \times 10^{-03}$ e $5,22 \times 10^{-07}$ cm/s. Não se descarta a possibilidade de tais resultados indicarem a presença de níveis areno-siltosos. O valor $2,46 \times 10^{-03}$, obtido em solo argilo-siltoso indicou a presença de material lítico incluso, algumas vezes amostrados como fragmentos lateríticos;
- ✓ O aterro possui permeabilidade entre $1,00 \times 10^{-04}$ a $4,26 \times 10^{-05}$ cm/s, concluindo ser um material silto-arenoso;
- ✓ Considerando-se os aspectos geológico-geotécnicos e hidrogeológicos que atuam sobre os canais ainda existentes na subacia, observou-se que estes são diretamente afetados pelo regime de maré da Baía do Guajará e que a oscilação do nível da água influi diretamente sobre o fluxo de água subterrânea, sobretudo no horizonte do aterro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, 1981. v.17, (1)-2: 1-29.

ALMEIDA, H.G.; MARTINS, R.C.; ALMEIDA, H.D. Projeto Materiais de Construção Tucuruí-Carajás: **Relatório final**. Belém: DNPM/CPRM, 1977. (1), 168 p., il.

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências - USP**. São Paulo, 2006. 6 (2):1-6.

BAHIA, V.E. **Estudo Hidrológico da Área Localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta**. 2003. 117 p. Tese (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. 2003.

Bemerguy RL, Costa JBS, Hasui Y, Borges MS, Soares AV Jr.. Structural geomorphology of the Brazilian Amazon region. In **Contribuições à Geologia da Amazônia**, Klein EL, Vasque ML, Rosa Costa LT (eds). Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte: Belém. Brasil.2002; 245–258.

BRITO NEVES, B.B.; CORDANI, U.G. **Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic**. Precambrian Research. 1991. v. 53, p. 23-40,

CODEM – COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. **Plano de desenvolvimento da Grande Belém**: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema. Belém. 1975. v.1.

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA JUNIOR, C.A.P.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da Região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Revista de Geociências**.1996. v. 4, n. 2, p. 23-44.

COSTA, J.B.S. ; HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: M.L. COSTA ; R.S. Angélica (Coordenadores.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém, FINEP e SBG. 1997.p 15-90.

COSTA, J.B.S.; HASUI,Y.; ARAÚJO, O.J.B. Episódios de reativação proterozóica na região norte do Brasil. **Revista do IESAM**, Belém. 2003. v. 1, n. 1, p. 129-151.

COSTA, J.B.S.; HASUY, Y.; BEMERGUY, R.L.; SOARES JÚNIOR, A.V.; VILLEGAS, J.M.C. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro. 2002. v. 74, n. 3, p. 519-531.

DINIZ, T.D. de A.S. Característica climática da Amazônia Oriental: Pesquisa sobre utilização e conservação do solo da Amazônia Oriental. **Relatório final do convênio EMBRAPA/CPATU/GTZ**.1986. p.3-13 (Belém documentos, 40).

FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. Mapeamento da área Belém-Outeiro. Estágio de campo III. **Relatório Final**. Belém, UFPA. 1992. 247p.

FERREIRA, C.S. Características lito-paleontológicas na Formação Pirabas, estado do Pará. In: Conferência Geológica das Guianas, Belém. **Anais...Belém**. 1966, v.6, p. 101-111.

FOLLE, D. **O estudo geoestatístico de sondagens SPT para a geração de mapas auxiliares em obras de engenharia**. 2002. 199 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2002.

GÓES, A.M.O.; SOUZA, J.M.P.; TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. 1990. v. 4, n. 1 p. 55-64.

MOREIRA, E. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém. Imprensa Universitária.1966. 212 p.

NBR 6484-1980. **Execução de Sondagens de simples reconhecimento dos solos**. NBR. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR – 7250/1982. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abril de 1982.

NBR – 8036/1983. **Programação de sondagens de simples reconhecimento**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Junho de 1983.

NBR – 6484/2001. **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

PETRI, S. Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó. **Boletim da Faculdade de Filosofia**. Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia). 1954 134, 1-172.

PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. **Boletim da Faculdade de Filosofia**. Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia). 1957. 216, p. 1-79.

PIRATOBA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá**. 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. 2002.

ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Boletim do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São Paulo.2006. 1:1-16.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic Sedimentary Evolution in Northeastern Pará, within the context of sea level changes. **Journal of South American Earth Sciences**. 2001. 14:77-99.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. Geologia. In: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). **O Neógeno na Amazônia Oriental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 2004. 13-52. (Coleção Fiedrich Katzer).

ROSSETTI, D.F.; GOÉS, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da Sucessão Sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em Radar de Penetração no Solo. **Jornal Brasileiro de Geofísica**. Belém-Pa. 2002. 19(2): 113-130.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi** (Série Ciências da Terra). 1989. 1: 25-74.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**. Brasília: CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2003.p. 169-226, il.

SÁEZ, F.O.; RODRÍGUEZ-TOVAR, F.J.; ESCÁMEZ, A.T.M. Análisis Ecostratigráfico y Sedimentológico de Materiales del Jurásico Superior Epicontinental en el Sector

Oriental del Paleomargen Suribérico (Provincia de Albacete). **Revista de Estudios Albacetenses**. 1995. 36: 5-85.

SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacentes: Influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade**. 1996. 128 p. Tese (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. 1996. 128p.

SOUZA, F.F.R. **Aspectos neotectônicos e ecologia da paisagem em parte da área dos municípios do NE do estado do Para (Tucuruí, Baião, Breu Branco, Goianésia, Moju e Tailândia)** 2007. 118 p. Tese (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Belém. 2007.

TÁVORA, V.A.; MESQUITA, N.; SOUZA, S.R.; CACELA, A.S.M.; TEIXEIRA, S.G. Sistemática e Tafonomia dos Crustáceos decápodes da ecofácies Capanema da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geociências**. 2002. 32 (2): 223-230.

VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T.; DA SILVA, C.M.G.; KLEIN, E.L. Compartimentação Tectônica. In: VASQUEZ, M.L. & ROSA-COSTA, L.T. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008. 328p.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T. **Amazônia: seus solos e recursos naturais**. São Paulo. Agronômica Ceres.1987. 416p.

VILLEGAS, J.M.C. **Geologia estrutural da Bacia do Marajó**. 1994. 119 p. Tese (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Belém. 1994.