

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM MACEIÓ

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

CAMPINA GRANDE

1992

ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM MACEIÓ

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM MACEIO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : GEOTECNIA

ORIENTADOR : JOÃO BATISTA QUEIROZ DE CARVALHO, Ph.D.

CAMPINA GRANDE

1992

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM MACEIÓ

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM : 11 de Dezembro de 1992


Prof. João Batista Queiroz de Carvalho, Ph.D.


Prof. Ailton Alves Diniz, M.Sc.


Prof. Abel Tenório Cavalcante, M.Sc.


Prof. Ademilson Montes Ferreira, M.Sc.

CAMPINA GRANDE

DEDICATÓRIA

O nosso êxito é fruto, sobretudo, de incentivos, apoios e sacrifícios. Amigos e familiares fazem parte do contexto de situações e oportunidades que nos leva a crer, desejar e buscar. A eles pertence o mérito. Destaco e dedico este trabalho à:

Meu pai, Ronaldo - in memoriam

Minha mãe, Deleuza

Meu irmão, Paulo

Meus filhos, Luizinho e Pollyana

Minha esposa, Gimênia.

que, concientes ou inconcientes, foram a alavanca de impulsão, e da motivação.

O autor

AGRADECIMENTOS

Para a consecução dos trabalhos de pesquisa objeto da presente Discertação de Mestrado, tornou-se imprescindível o apoio de Instituições e profissionais da área, sem os quais o presente trabalho não seria realizado. Dentre tantos, destacamos e agradecemos os seguintes:

A Universidade Federal de Alagoas e aos colegas do Departamento de Geologia e Topografia pelo incentivo e crédito concedido à pesquisa.

A Universidade Federal da Paraíba que, com o curso de mestrado ofertado, e o apoio efetivo concedido pelo Laboratório de Solos II, propiciou a exequibilidade desta pesquisa.

Ao professor João Batista Queiroz de Carvalho que, sempre solícito, orientou a presente pesquisa, muito contribuindo com sua larga experiência.

Ao professor Ailton Alves Diniz que, com serenidade e constância dioturna co-orientou os trabalhos objeto da presente Tese. Igualmente ao professor Ademir Montes Ferreira que, na qualidade de orientador acadêmico e com seu elevado espírito de pesquisador, auxiliou dirimindo dúvidas e incentivando, sempre que solicitado.

A todos os professores da área de geotecnia da UFPB pela dedicação e seriedade demonstradas no decorrer do curso.

Ao Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de Alagoas - DER/AL que, na pessoa do seu Diretor Geral Eng. José Faustino, forneceu o apoio logístico dos trabalhos de campo e transporte das amostras para Campina Grande.

A Empresa de Recursos Naturais do Estado de Alagoas - EDRN/AL que, na pessoa do seu presidente, Bel. Geraldo Ribeiro, contribuiu com apoio logístico em Maceió.

Aos colegas mestrandos de geotecnia, e mais especialmente ao engenheiro Alcides Machado pelo seu incondicional e permanente espírito de cooperação.

E, por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão do presente trabalho.

RESUMO

Esta dissertação apresenta os resultados de uma pesquisa sobre as encostas de Maceió.

Como se sabe, na cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas, a exemplo dos grandes centros populacionais, cresce de forma desordenada. Com isso é contaminada com problemas de ordem social, pelo assentamento desordenado de população de baixa renda em áreas de encostas com declividades superiores a 45%. Essas encostas, que ligam os tabuleiros às planícies, são geologicamente constituídas de sedimentos terciários do Grupo Barreiras - Formação Guararapes. Constituem-se de solos areno-argilosos de baixa permeabilidade e baixa a nenhuma plasticidade. Por fim, são constituídos mineralogicamente por quartzo, caulinita e illita.

Os ensaios triaxiais (UU) e de cisalhamento direto confirmaram elevada resistência à ruptura quando os solos encontram-se em baixos teores de umidade, ou mesmo na umidade natural. No entanto essa resistência decai, em cerca de quatro vezes, quando o teor de umidade aproxima-se da saturação. Por fim, o estudo da estabilidade realizado através de método de Bishop, mostra que todas as encostas pesquisadas são estáveis nas épocas de estiagem e, instáveis, durante chuvas de longa duração.

ABSTRACT

This thesis presents the results of an investigation carried out in order to assess the condition of Maceió slopes.

The city of Maceió, capital of the state of Alagoas, like many other coturbation nationwide, grows without any land-use control. Consequently, the number of social problems increases rapidly, due to the disorderly occupation of city slopes by low-income population. Even slopes with declivity above 45% is largely occupied.

The city slopes connects the plateau and the plains and are formed by the terciary sediments of the Barreiras Group - Guararapes formation. They are formed by sand-clay soils, with low permeability and low to none plasticity. Mineralogically they are formed by quartz, kaolinit and illite.

Triaxials tests (UU) and direct shear strength confirm the high strength to breaking load when soils have low levels of humidity. However this strength decreases almost four times when humidity level is near saturation. In conclusion, the research shows through the Bishop method, that all slopes studies are stable during dry seasons, and unstable during long rainy season.

SÍMBOLOS E ABREVIACOES

c	-	coesão
c'	-	coesão efetiva
cm	-	centímetro
cm/s	-	centímetro por segundo
e	-	índice de vazios
FS	-	fator de Segurança
h	-	umidade
IP	-	índice de plasticidade
kh	-	permeabilidade horizontal
kv	-	permeabilidade vertical
kN	-	quilo Newton
kN/m^3	-	quilo Newton por metro cúbico
kPa	-	quilo Pascal
LL	-	limite de Liquidez
LP	-	Limite de Plasticidade
Mea	-	Massa Específica Aparente Seca
Mer	-	Massa Específica Real
mPa	-	mega Pascal
pol	-	polegada
S	-	grau de saturação
T	-	tensão cisalhante aplicada
t	-	tensão de confinamento aplicada
tan	-	tangente
u	-	tensão neutra/poro-pressão
ϕ	-	ângulo de atrito interno
%	-	percentagem

RELAÇÃO DE FIGURAS

FIG. 1 - Mapa Plani-Altimétrico de Parte da Cidade de Maceió.....	009
FIG. 2 - Esboço Genérico de Uso e Ocupação do Solo de Maceió.....	010
FIG. 3 - Esboço Geomorfológico de Parte da Cidade de Maceió.....	011
FIG. 4 - Esboço Geológico de Parte da Cidade de Maceió.....	013
FIG. 5 - Localização das Encostas Geotecnicamente Homólogas.....	050
FIG. 6 - Localização das Principais Encostas com Declividades Superiores a 45%.....	057
FIG. 7 - Localização e Identificação das Encostas Pesquisadas em Parte da Cidade de Maceió.....	066
FIG. 8 - Seção Transversal-Tipo da Encosta Mutange.....	067
FIG. 9 - Seção Transversal-Tipo de Encosta Bolão.....	079
FIG. 10 - Seção Transversal-Tipo da Encosta Bebedouro.....	080
FIG. 11 - Seção Transversal-Tipo da Encosta Chã da Jaqueira.....	081
FIG. 12 - Seção Transversal Tipo da Encosta Reginaldo II.....	082
FIG. 13 - Seção Transversal da Encosta Bebedouro na Unidade Natural e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa BISTAT.....	159
FIG. 14 - Seção Transversal da Encosta Bebedouro Saturada e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa BISTAT.....	160
FIG. 15 - Seção Transversal da Encosta Bolão I na Unidade Natural e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa BISTAT.....	161

FIG 16 - Seção Transversal da Encosta Bolão I Saturada e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa B.ISTAT.....	162
FIG 17 - Seção Transversal da Encosta Chã da Jaqueira na unidade natural e Características do Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa BISTAT.....	163
FIG 18 - Seção Transversal da Encosta Chã da Jaqueira, Saturada e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa BISTAT.....	164

RELAÇÃO DE FOTOGRAFIAS

Foto 01 - Visão Geral do Assentamento indiscriminado na Encosta Mutange.....	068
Foto 02 - Detalhe do Acesso à Encosta Mutange, que funciona também como sistema de drenagem.....	069
Foto 03 - Detalhe da Camada Inferior da Encosta Mutange, mostrando concreções de coloração esbranquiçada....	070
Foto 04 - Detalhe da Regularidade Granulométrica da Camada Superior da Encosta Mutange, mostrando cavidades que conferem, ao solo, microdescontinuidades com elevado índice de vazios.....	071
Foto 05 - Aspecto de Antigo Escorregamento na Encosta Bolão I	073
Foto 06 - Aspecto de Escorregamento Recente na Encosta Bolão I.....	074
Foto 07 - Vista Geral da Encosta Bolão I, indicando o local de coleta das amostras.....	075
Foto 08 - Detalhe de duas Camadas de solos Arenosos na Encosta Bolão I.....	075
Foto 09 - Detalhe da Moldagem dos Blocos Indeformados Encosta Bolão I.....	076
Foto 10 - Vista Geral da Encosta Bebedouro. Observa-se ao fundo, casas já condenadas pela Defesa Civil do Estado de Alagoas (marcadas com "X"). Local de constantes escorregamentos.....	077
Foto 11 - Aspecto Geral da Encosta Chã da Jaqueira, mostrando seu aspecto vertical e local de coleta.....	083
Foto 12 - Visão Geral do Assentamento Indiscriminado na Encosta à margem direita do Riacho Reginaldo II, mostrando ao fundo a ponte de acesso à rodoviária.....	084
Foto 13 - Visão Geral do Assentamento Indiscriminado na Encosta à margem esquerda do Riacho Reginaldo.....	084

Foto 14 - Localização da coleta de Amostras na Encosta Reginaldo II - mostra, disperso na encosta, o plantio de bananeiras (fator geotécnico negativo.....	085
Foto 15 - Detalhe da Escavação Realizada para Retirada de amostra indeformada cúbica de 40 cm de aresta.....	086
Foto 16 - Detalhe do solo da Encosta Reginaldo II, mostrando concreções cauliniticas com cerca de 2cm de diâmetro médio.....	087
Foto 17 - Detalhe de uma amostra indeformada e seu manuseio em laboratório.....	102
Foto 18 - Detalhe de três amostras cilíndricas para compressão triaxial, mostrando descontinuidades que conferem elevado índice de vazios.....	103
Foto 19 - Detalhe das Concreções Cauliniticas em uma amostra da encosta Reginaldo II.....	104
Foto 20 - Visão Geral da Prensa de Compressão Triaxial Utilizada. Laboratório de Solos II, UFPb.....	105
Foto 21 - Visão Geral das três prensas para cisalhamento direto, sincronizadas para ensaios simultâneos, no Laboratório de Solos II, UFPb.....	106

RELAÇÃO DE QUADROS

QUADRO Nº 01 : Parâmetros Geotécnicos do Grupo Barreiras.....	022
QUADRO Nº 02 : Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento.....	024
QUADRO Nº 03 : Perfil geotécnico da encosta próxima à torre esquerda da Igreja do Carmo - Olinda-Pe.....	026
QUADRO Nº 04 : Granulometria por peneiramento nos solos das encostas pesquisadas.....	118
QUADRO Nº 05 : Índices de Consistências dos Solos das Encostas Pesquisadas.....	128
QUADRO Nº 06 : Massa Específica Real dos Grãos dos Solos das Encostas Pesquisadas.....	129
QUADRO Nº 07 : Permeabilidade dos Solos das Encostas Pesquisadas.....	132
QUADRO Nº 08 : Índices Físicos Complementares dos Solos das Encostas Pesquisadas.....	136
QUADRO Nº 09 : Ensaio de Compactação dos Solos das Encostas Pesquisadas.....	137
QUADRO Nº 10 : Resumo das Análises Mineralógicas por Difração de Raios-X (Raios-X total).....	140
QUADRO Nº 11 : Resumo das Análises Mineralógicas por Difração de Raios-X (natural/glicol/aquecido)...	141
QUADRO Nº 12 : Ensaio Triaxiais (UU) - umidade natural.....	148

QUADRO Nº 13 : Ensaio Triaxiais (UU) - saturado.....	149
QUADRO Nº 14 : Variação de Resistência à Ruptura com a variação da umidade.....	150
QUADRO Nº 15 : Cisalhamento Direto - umidade natural.....	157
QUADRO Nº 16 : Variação do Fator de Segurança com o Incremento de umidade.....	158

RELAÇÃO DE GRÁFICOS

GRÁFICO N ^o 01	Curva de Intensidade x Duração e Frequência para Maceió.....	029
GRÁFICO N ^o 02.A	Curva Granulométrica da encosta Bolão I am.1.....	119
GRÁFICO N ^o 02.B	Curva Granulométrica da encosta Bolão I am.2	120
GRÁFICO N ^o 02.C	Curva granulométrica da encosta Mutange am.1.....	121
GRÁFICO N ^o 02.D	Curva Granulométrica da encosta Mutange am.2.....	122
GRÁFICO N ^o 02.E	Curva Granulométrica da encosta Chã de Bebedouro.....	123
GRÁFICO N ^o 02.F	Curva Granulométrica da encosta Chã da Jaqueira.....	124
GRÁFICO N ^o 02.G	Curva Granulométrica da encosta Reginaldo II.....	125
GRÁFICO N ^o 03	Curvas de Compactação.....	135
GRÁFICO N ^o 04	Curvas de Tensão x Deformação (triaxial UU)...	144
GRÁFICO N ^o 05	Envoltórias de Rupturas.....	145
GRÁFICO N ^o 06	Ensaio de Cisalhamento Direto.....	151

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

SIGLAS E ABREVIACÕES

RELAÇÃO DE FIGURAS

RELAÇÃO DE FOTOGRAFIAS

RELAÇÃO DE QUADROS

RELAÇÃO DE GRÁFICOS

1.0 - INTRODUÇÃO.....	001
2.0 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDOS.....	003
2.1 - Caracterização da área.....	003
2.2 - Aspectos Sócio-econômicos de Maceió.....	006
2.3 - Geomorfologia.....	012
2.4 - Geologia Regional.....	015
2.5 - Caracterização Geotécnica.....	019
2.6 - Aspectos Fisiográficos.....	028
2.7 - Conclusões.....	032

3.0 - CARACTERÍSTICAS E CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS...	034
3.1 - O Caso de Escorregamentos na Cidade de Maceió.....	034
3.2 - Avaliação dos Fenômenos Atuantes nos Escorregamentos.....	036
3.3 - Identificação das Causas Existentes.....	043
3.4 - Conclusões.....	045
 4.0 - CARACTERÍSTICAS DAS ENCOSTAS OBJETOS DESTA PESQUISA.....	047
4.1 - Características Gerais.....	047
4.2 - Aspectos Geológicos das Encostas.....	053
4.3 - Aspectos Geotécnicos das Encostas.....	055
4.4 - Conclusões.....	093
 5.0 -A ESTABILIDADE DE TALUDES-Limitações e Incertezas	094
5.1 - Apresentação.....	094
5.2 - Considerações Metodológicas.....	096
5.3 - O Coeficiente de Segurança.....	097
5.4 - Os Principais Métodos de Análise da Estabilidade.....	098
5.5 - As Superfícies de Rupturas.....	099
5.6 - Conclusões.....	100

6.0 - METODOLOGIA DA PESQUISA.....	101
6.1 - Materiais.....	101
6.2 - Métodos.....	107
7.0 - ANALISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	117
7.1 - Análise Granulométrica.....	117
7.2 - Índices de Consistências.....	126
7.3 - Massa Específica Real dos Grãos do Solo.....	127
7.4 - Ensaios de Permeabilidade.....	130
7.5 - Índices Físicos Complementares.....	131
7.6 - Ensaios de Compactação.....	133
7.7 - Análise Mineralógica.....	138
7.8 - Ensaios Triaxiais.....	142
7.9 - Cisalhamento Direto.....	147
7.10 - Interpretação Geotécnica Generalizada.....	153
7.11 - Análise da Estabilidade das Encostas.....	155
8.0 - CONCLUSÕES.....	165
9.0 - RECOMENDAÇÕES.....	168
10.0 - BIBLIOGRAFIA.....	170

ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM MACEIÓ

CAPÍTULO I

1.0 - INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado desenvolveu estudos sobre a estabilidade de encostas urbanas, na cidade de Maceió, identificando-as como áreas de risco.

Maceió é uma cidade litorânea, cuja ocupação urbana adensa-se ao longo de suas áreas planas e, mais recentemente por sobre áreas de declividades acentuadas, consideradas pelo Plano Diretor de Maceió como áreas impróprias à ocupação urbana. Estas áreas constituem as encostas.

A ocupação desordenada dessas encostas, com todas as consequências geotecnicaamente negativas, tem favorecido a instabilidade de seus solos.

O Poder Municipal ressen-te-se de estudos específicos que o auxilie e oriente tecnicamente nas decisões governamentais. Para tanto, a presente pesquisa procurou produzir o conhecimento das causas e efeitos dos constantes escorregamentos das encostas que interligam os tabuleiros às planícies existentes.

Considerando estes fatores, a presente pesquisa analisou os aspectos topográficos, geomorfológicos, geológicos e sociais onde, com o cruzamento destas variáveis, definiu-se as encostas a serem amostradas.

Coletou-se amostras indeformadas que, após suas respectivas caracterizações geotécnicas, foram objeto de ensaios especiais de simulação de ruptura, como o cisalhamento direto e o triaxial (UU), além de identificação mineralógica por difratometria de Raios-X, e verificação da permeabilidade horizontal e vertical de cada encosta.

A pesquisa enfocou o caráter multidisciplinar e, através de suas análises laboratoriais e computadorizadas, conclue que as encostas de Maceió, quando saturadas, tornam-se instáveis, ao ponto de seu momento de tombamento assumir magnitude três vezes maior que o momento resistente.

Obteve-se, por fim, as resistências à ruptura de cada encosta, para as fases de estiagem e de chuvas de longa duração.

CAPITULO II

2.0 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDOS

Face a abrangência do assunto, este capítulo foi concentrado na caracterização da área de estudo, seus aspectos sociais, econômicos, geomorfológicos, geológicos e geotécnicos. Buscou-se ainda revisar conhecimentos sobre a estabilidade de encosta, que venham permitir, nas etapas específicas do estudo da estabilidade, uma compreensão mais racional dos resultados.

2.1 - Caracterização da Área

2.1.1 - Dados Históricos

Maceió, capital do Estado de Alagoas, é uma cidade-porto do litoral alagoano. É o centro comercial mais importante do Estado e, por isso, ponto de convergência de inúmeras rodovias.

A expansão urbana desenvolve-se sobre duas planícies interligadas por encostas naturais, as quais são objeto dos estudos da presente Dissertação de Mestrado.

Segundo dados do IBGE (1959) a história de Maceió tem início nos tempos do Brasil Colônia, datando o mais antigo documento que dá notícia de sua existência, de 1611. Após a expulsão dos invasores holandeses, o governo português, com o objetivo de resguardar a costa pernambucana e evitar o comércio ilegal de pau-brasil, ordenou ao então Governador Geral do Brasil, Afonso Furtado de Castro de Mendonça, o Visconde de Barbacena, que fosse povoada essa porção do território, e fortificado o porto de Jaraguá. A povoação de Maceió foi iniciada na realidade, anos mais tarde, com a ocupação de uma sesmaria doada a Apolinário Fernandes Padilha, que segundo Craveiro Costa in Carvalho Filho et alii (1987), teria sido o fundador do engenho "Massayó". Com o desenvolvimento dessas atividades comerciais através do porto de Jaraguá, o povoado separou-se da vila de Alagoas em 5 de dezembro de 1785.

Transformada em Capitania em 16 de setembro de 1817, teve Melo Póvoas como primeiro governante. Assim passou a ter a preferência para ser a capital da comarca tanto por seu porto, quanto pela posição de convergência de estradas, que concentravam os produtos vindos do interior. Ao lado desses fatos a precária situação do porto de Alagoas, atual Marechal

Deodoro, antiga capital, já não oferecia condições favoráveis, pois o assoreamento da lagoa Manguaba obstruía parcialmente os canais que a ligam com o mar. Tudo isso contribuiu para a mudança que, no entanto, só veio ocorrer em 02 de dezembro de 1839, no tempo do Presidente Agostinho da Silva Neves.

2.1.2 - Origem Geográfica

De acordo com o IBGE (1959), o nome da cidade tem origem indígena, onde "Maçai-ó" ou "Maçai-ok" significa o que tapou o alagadiço.

O IBGE (1959) relata que o alagadiço era o antigo estuário do rio Mundaú aberto para o mar, na época em que as mais antigas tribos habitavam esta parte do litoral. Provavelmente croas se formaram na boca do rio e foram aumentando de largura e atingindo uma altura acima dos níveis das marés. Com o crescimento contínuo, esses depósitos sedimentares, acumulados pela força do mar contra a corrente do Mundaú, orientaram-se alongados pelos ventos de nordeste, e a desembocadura do rio começou a sofrer desvios à medida que a restinga se formava, conforme se observa no Mapa Plani-Altimétrico de Parte da Cidade de Maceió-Al, mostrado na Figura No. 01.

Desta forma, a palavra Maceió significou a síntese histórica da formação de um acidente geográfico, observado pelos

primitivos habitantes da área.

2.2 - Aspectos Sócio-Econômicos de Maceió

Maceió destingue-se das demais cidades alagoanas tanto econômica quanto socialmente. Isto deve-se a dois fatos primordiais. Primeiro por hospedar a sede governamental do Estado. Em seguida por absorver o primeiro Polo Industrial e concentrar as mais fortes atividades de educação saúde e cultura. Finalmente, pela localização e porte do seu porto, responsável maior pelas atividades de importação e exportação, conforme fica ressaltado no Mapa Plani-Altimétrico de Parte da Cidade de Maceió, mostrado na Figura No. 01.

Segundo Carvalho Filho et alii (1987), no que concerne às atividades econômicas, Maceió praticamente não dispõe de atividades primárias, aquelas ligadas diretamente à terra, como agricultura e pecuária. Têm, assim, a agricultura e a pecuária, papel pouco significativo, conforme se verifica no Esboço Genérico do Uso e Ocupação do Solo apresentado na Figura No. 02. que reflete a pequena área onde reside o predomínio das atividades agrícolas. São poucos e pequenos os pecuaristas. Na agricultura, destacam-se apenas pequenos e isolados produtores de côco-da-bahia e de cana de açúcar. Não há produção de hortifrutigranjeiros como verduras e legumes. Quanto ao extrativismo animal é Maceió um dos principais centros pesqueiros

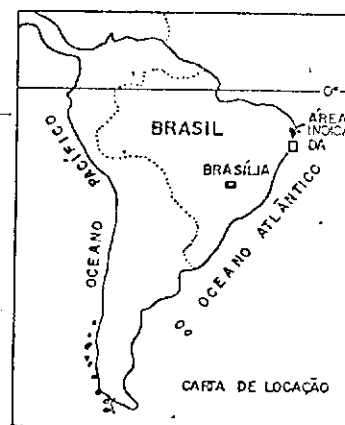
do Nordeste, contando com cinco colônias de atuação econômica marcante na vida do município. Finalmente, no extrativismo mineral, destacam-se as explorações de argila no bairro do Tabuleiro, e salgema no bairro de Bebedouro, geradoras de poucos empregos diretos e baixa receita tributária.

No que se refere às atividades secundárias, que consistem no beneficiamento, construção ou transformação de riquezas, assumem importância capital no município de Maceió. Com o Distrito Industrial Luiz Cavalcante localizado no Tabuleiro do Martins, que possui 38 indústrias em atividades, desde as que fabricam equipamentos para as indústrias pesadas, até as que produzem embalagens plásticas, passando pelas indústrias cerâmicas e as de desdobramento e polimento de mármore e granitos.

Além do leque de indústrias situadas no Distrito Industrial, outras encontram-se disseminadas pelo município, destacando-se o beneficiamento de côco, a indústria alimentícia e a mecânica pesada. Desta forma, o parque industrial de Maceió é implementado por mais de 400 indústrias de pequeno e médio porte. Ao lado dessas, há a SALGEMA Indústria Química S.A., que produz soda cáustica, cloro e seus derivados. Em função desta e do parque açucareiro do Estado, foi implantado o Polo Cloro-Químico, situado no Tabuleiro, entre as lagoas Mundaú e Manguaba. Este Polo, em função do seu elevado porte, deverá promover a redenção econômica do Estado de Alagoas.

Quanto às atividades terciárias, responsáveis pela circulação e consumo das riquezas, Maceió destaca-se como principal centro. Entre elas soberessai-se a indústria do turismo, que expandiu a rede oficial de hotelaria para mais de 100 estabelecimentos. Elevou a rede bancária para mais de 40 bancos, sendo 10 oficiais e 30 privados. Em seu comércio são encontradas filiais de grandes cadeias nacionais de lojas, como Pernambucanas, Americanas, Brasileiras, Mesbla, Bompreço, etc., além de pequenos empreendimentos locais. Estas espalham-se pelas artérias viárias e centros comerciais, a exemplo do Shopping Center Iguatemi e três Hiper Bom Preço.

No que tange à educação, saúde e instalações sanitárias, as deficiências são gritantes. Segundo Carvalho Filho(1987), existe uma relação de um médico para cada 617 habitantes, de 1 um dentista para cada 16.099 habitantes, e 36% da população urbana é analfabeta. Nas instalações sanitárias o quadro também é alarmante, pois apenas 30% das habitações estão ligadas a rede geral de esgotos, e 46% das mesmas não dispõe de água ligada à rede geral. As instalações elétricas também são deficitárias, 33% da população não dispõe de energia elétrica. Seguramente, a população desfavorecida concentra-se no cinturão periférico da cidade, quase sempre constituído por ENDOSTAS.



MAPA PLANI-ALTIMÉTRICO DA PARTE DA CIDADE DE MACEIÓ - AL

FONTE : IBGE - FOLHAS SC.25 - V - C - IV - 1 (PILAR) E SC.25 - V - C - IV - 2 (MACEIÓ)

ESCALA ORIGINAL — 1:10.000

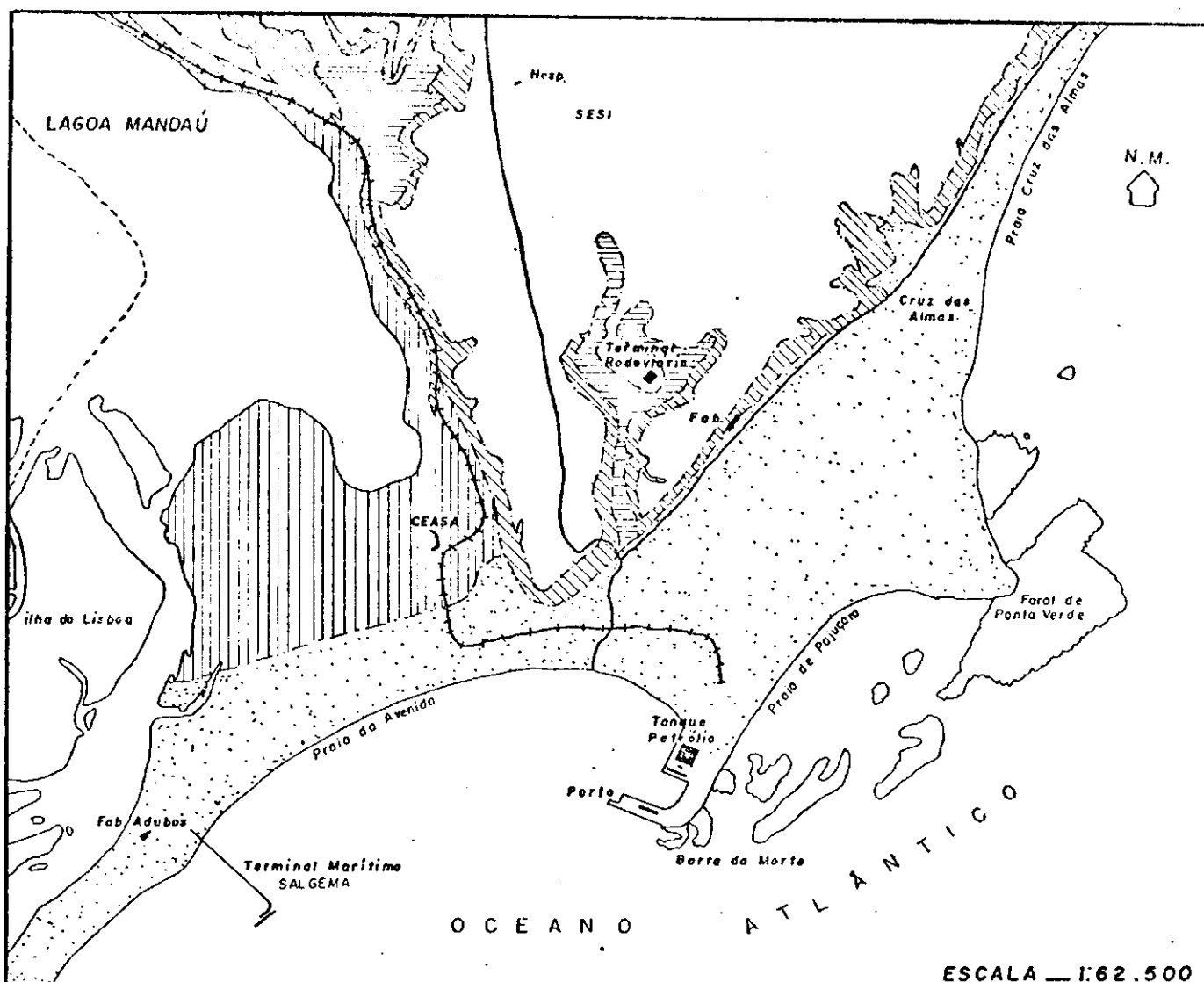
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 01



ESCALA — 1:62.500

ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DE PARTE DA CIDADE DE MACEIÓ-AL

-  PLANÍCIE FLUVIAL
-  PLANÍCIE LACUSTRE
-  PLANÍCIE MARINHA
-  ENCOSTA
-  TABULEIRO

BASE PLANIMÉTRICA IBGE - FOLHAS SC. 25 - V - C - IV - 1 (PILAR) E SC. 25 - V - C - 2 (MACEIÓ)
 FONTE: ALMEIDA COSTA, JOVESI DE E BARRETO, EVERALDO T IN
 CARVALHO FILHO (1982)

ESCALA ORIGINAL 1:10.000

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

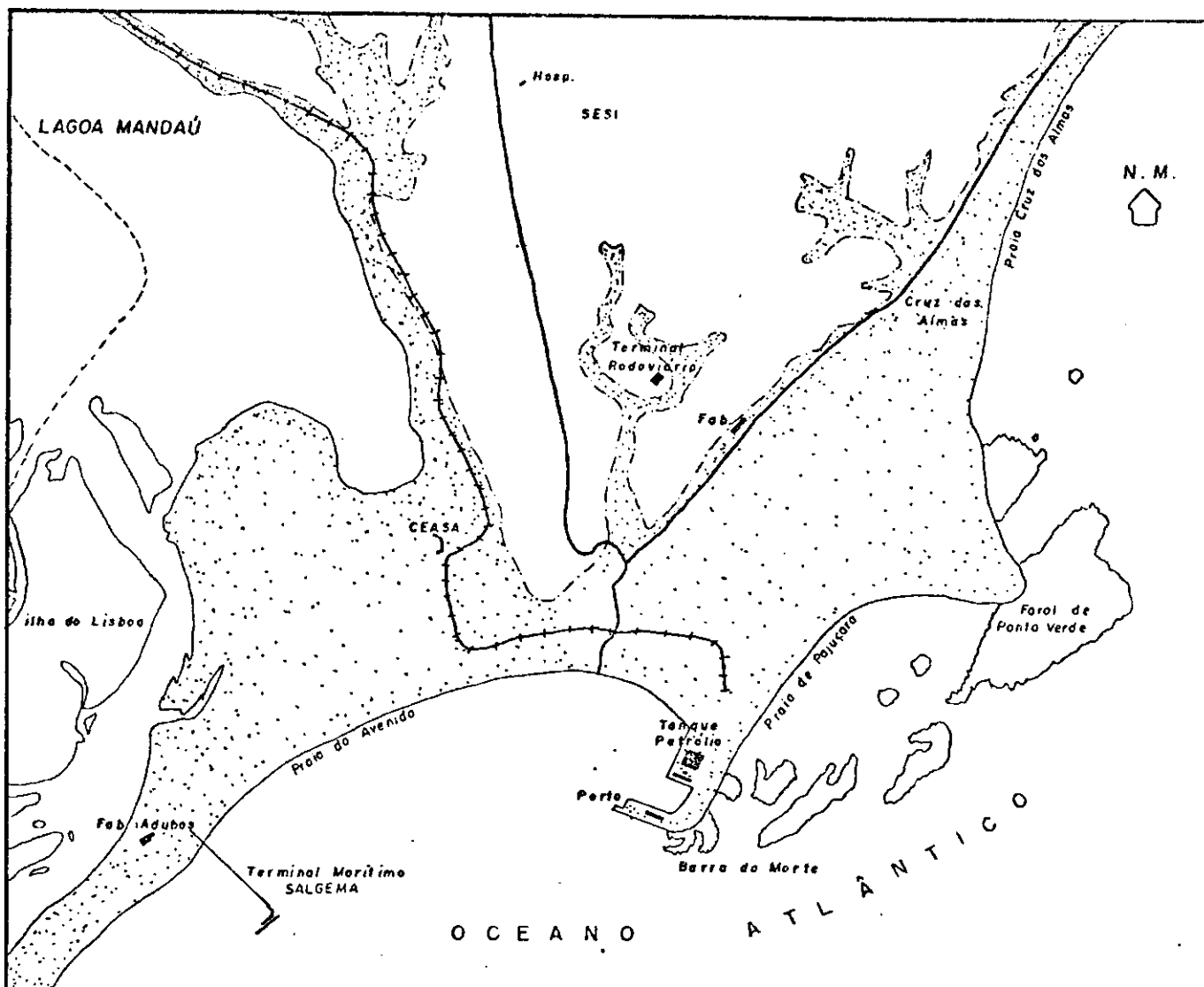
FIGURA Nº 03

2.3 - Geomorfologia

A área ocupada pelo município de Maceió possui fenômenos geomorfológicos ativos, que continuam a modelar o seu relevo, através de ações construtivas e destrutivas, erodindo e depositando. Possui dois compartimentos topográficos distintos, que segundo Almeida Costa in Carvalho Filho et alii (1987), são representados por um Baixo Planalto Sedimentar e por Planícies de origem marinha e lagunar. O primeiro é representado pelos Tabuleiros Terciários, e a segundo, pouco mais baixo, composto por sedimentos recentes, contorna toda a extensão do primeiro compartimento. As duas Unidades ou Compartimentos geomorfológicos estão interligados através de vertentes que penetram nos vales fluviais. Tudo conforme mostrado no Esboço Geomorfológico apresentado na Figura No. 03.

2.3.1 - Baixo Planalto Sedimentar

Segundo Almeida Costa in Carvalho Filho et alii (1987), são raras as formas de acumulações no Baixo Planalto Sedimentar. Este compartimento destaca-se pelo entalhe da rede de drenagem, e pelo efeito do escoamento pluvial sobre a superfície tabular. Esta superfície é levemente inclinada para sudeste, terminando em geral, nas planícies marinha e lagunar por encostas abruptas. Neste compartimento distinguem-se: o tabuleiro, os vales, e as vertentes, em forma de falésias mortas ou ribanceiras.



ESCALA 1:62.500

ESBOÇO GEOLÓGICO DE PARTE DA CIDADE DE MACEIO - AL



SEDIMENTOS DE PRAIA E ALUVIÕES



GRUPO BARREIRAS

BASE PLANIMÉTRICA IBGE - FOLHA SC. 25-V-C-IV-1 (PILAR) E SC. 25-V-C-2 (MACEIÓ)

FONTE : ALENCAR, GERALDO CÉSAR M. DE, IN CARVALHO FILHO (1987)

ESCALA ORIGINAL 1:10.000

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 04

a) O Tabuleiro

Constituído por sedimentos Terciários do Grupo Barreiras, ocorre de maneira absoluta na área. Possui extensas áreas quase planas e com declividades que variam de 0% a 5%. Encontra-se bastante entrecortado pela rede hidrográfica. Os topos planos conservam, localmente, vestígios de pediplanização, marcada por pequenas depressões, verdadeiras bacias de águas pluviais.

b) Os Vales

Os vales que cortam os tabuleiros formam uma rede de drenagem com desníveis que chegam a 60 metros. Dos rios que cortam a área, o Reginaldo é o mais importante, onde cortando o seu vale assentam-se parte dos bairros do Feitosa e Poço. Os vales encaixados possuem perfis transversais em "V" nos altos e médios cursos, e alargam-se nas planícies marinha e lagunar, no baixo curso do rio, quando abrem-se em "U".

c) As Vertentes

Na caracterização geomorfológica de qualquer paisagem, as vertentes possuem papel importante. Na área, possuem altitudes variando de 40m a 60m e, segundo Carvalho Filho et alii (1987), recebem a denominações de Falésias quando ao lado do Oceano, e Ribanceiras quando na margem da lagoa e vales fluviais. Enquanto estas ocorrem à margem esquerda da lagoa Mundaú, com declividades

que variam de 19% a 78%, aquelas estendem-se ao longo de todo o litoral com declividades variando entre 14% e 50%, atingindo excepcionalmente, e de forma isolada, a declividade de 70%.

2.3.2 - Planície Marinha-Lagunar

Este compartimento compreende uma área de baixa altitude que contorna o litoral e a lagoa. Com praticamente a mesma altitude, as planícies marinha e lagunar diferem fundamentalmente quanto a origem. A planície marinha é constituída por sedimentos de praia, lagoas e deltas e, predominantemente, por sedimentos de praia, eólicos e recifais. A planície lagunar, geomorfologicamente bastante complexa, está em fase de acumulação devido ao baixo curso do rio formador, aos pequenos rios afluentes e pela ação antrópica, através de aterros ligando ilhas ao continente, em busca de ampliação de áreas habitáveis por populações de baixa renda.

2.4 - Geologia Regional

As características geológicas da área, observadas através de levantamento bibliográfico, mostrou-se bastante satisfatórias para os objetivos da presente pesquisa. A área em questão faz parte integrante da estratigrafia da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, suficientemente estudada por Schaller(1969). Posteriormente, Mabessone et alii (1972), subdividiu o Grupo

Barreiras através de estudos sedimentológicos nos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, sendo, posteriormente reconhecido em Alagoas por Saldanha et alii (1975), bem como por Cavalcante et alii (1975) e também DNPM/SUDENE/EDRN-AL (1986). Finalmente, através do mapeamento geológico na escala 1:50.000 realizado pelo DNPM/PETROBRAS (1975), Folha Maceió, conclui-se que as encostas existentes na zona urbana do município de Maceió-Al, constituem-se de sedimentos clásticos do Grupo Barreiras - Formação Guararapes. Apenas o Grupo Barreiras e os Sedimentos de Praia e Aluviões afloram na área objeto da presente pesquisa, conforme Esboço Geológico da Figura No. 4. Em profundidade, a estratigrafia é composta pelas seguintes unidades:

2.4.1 Embasamento

É representado pelo complexo granítico e granítico-granitóide, além de metassedimentos, meta-vulcanitos, metassomatitos e migmatitos.

2.4.2 Grupo Baixo São Francisco (Sub-grupo Coruripe)

2.4.2.1 Formação Penedo

Espessos leitos de arenito branco, mal classificado, micáceo, feldspato e caolínico; intercalações subordinadas de folhelho verde e raramente siltito e calcáreo argiloso acinzentado com raras intercalações.

2.4.2.1 Formação Morro do Chaves

Camadas de calcáreo coquinoide cinza esbranquiçado a creme, leitos de folhelhos castanho verde ou cinza.

2.4.2.2 Formação Coqueiro Sêco (Membro Arambipe)

Predominância de areias e arenitos de granulação média a grosseira, e intercalações de folhelhos cinza-escuros e calcáreo creme.

2.4.2.3 Formação Coqueiro Sêco (Membro Francês)

Abundância de horizontes de areia grossa e intercalações de folhelho castanho, sub-betuminoso e betuminoso.

2.4.2.4 Formação Coqueiro Sêco (Membro Roteiro)

Esessos horizontes de folhelhos com lâminas de calcáreos castanhos e intercalações de arenito cinza.

2.4.2.5 Formação Coqueiro Seco (Membro Manguaba)

Folhelhos acastanhados, sub-betuminosos, com frequentes intercalações de calcáreo castanho criptocristalino, gradando a dolomito.

2.4.3 Formação Muribeca

(Membro Maceió)

Intercalações de arenitos e folhelhos betuminosos, com ocorrência de camadas de salgema, informalmente chamadas de Evaporitos Paripueira.

(Membro Tabuleiro dos Martins)

Predominância de folhelhos castanhos, betuminosos, e intercalações de calcáreo castanho.

(Membro Carmópolis)

Conglomerado policomposto de matriz arcóscica; os seixos e matacões são de intrusivas ácidas e gnaisses.

(Membro Ibura)

Evaporitos e rochas associadas. São anidrita, halita e sais de potássio, com intercalações de folhelhos betuminosos e calcáreos dolomíticos.

2.4.4 Formação Piaçabuçu (Membro Marituba)

Clásticos médios a grosseiros, calcáreos e dolomitos, em geral piritosos. Contato discordante com o Grupo Barreiras ou com os sedimentos mais recentes.

2.4.5 Grupo Barreiras

Em Maceió é representado pela Formação Guararapes. São sedimentos Terciários, constituídos por clásticos continentais, não litificados. Regularmente compactados em acamamentos mal definidos, com cores variegadas. Por vezes, chega a apresentar uma estratificação cruzada insipiente. Sua litologia é composta por areias e intercalações de argilas e siltes. Ocasionalmente

ocorrem blocos de canga ferruginosa e horizontes isolados de seixos e pedregulhos quartzozos. Distribuem-se conforme mostrado no Esboço Geológico de Parte da Cidade de Maceió ressaltado na Figura No. 04.

2.4.6 Sedimentos de Praia e Aluviões.

Trata-se de uma designação informal para os sedimentos de idade recente que ocorrem em toda a bacia. A litologia varia com o ambiente deposicional: areias cinza-claras, argilas cinza e cinza-escuras. Estes sedimentos encontram-se distribuídos espacialmente pela cidade de Maceió conforme mostrado no Esboço Geológico da Figura No. 04.

2.5 - Caracterização Geotécnica

Observou-se que as encostas objeto do presente estudo representam as vertentes geomorfológicas e, no que concerne ao reconhecimento geológico, as encostas constituem-se de solos oriundos dos sedimentos terciários do Grupo Barreiras - Formação Guararapes. Assim, nesta revisão bibliográfica, e por uma questão de objetividade, serão enfocados apenas os principais trabalhos de caracterização geotécnica, exclusivos dos vertentes e sedimentos do Grupo Barreiras.

Anjos (1974), definiu geotecnicaamente os solos do Grupo Barreiras como caracterizados pela presença de camadas constituídas de areias de granulação variada, com reduzido teor

de finos. Muitas vezes com intercalações argilosas de coloração variegada. Superficialmente descobrem-se solos argilosos, argilo-arenosos ou areno-argilosos, de coloração marrom claro ou avermelhado. Ainda segundo Anjos (1974), os solos do Grupo Barreiras são caracterizados pelos parâmetros físicos indicados no Quadro No. 01.

Gusmão Filho et alii (1982), estudou a "Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda". Como esses morros têm a mesma constituição geológica das encostas de Maceió, é previsível que seus parâmetros geométricos sejam similares podendo, por conseguinte, resguardando-se as precauções ditadas pela experiência, usá-los como informações auxiliares. Os morros de Olinda são constituídos por uma mistura de areias e argilas, com horizontes de seixos. Ressaltou tratar-se de sedimentos do Grupo Barreiras, caracterizado por uma perfeita individualização dos diferentes horizontes, "existindo camadas de areia quase pura, com estratificação intercruzada, intercaladas com argilas siltosas, pouco arenosas". Descreveu ainda Gusmão Filho (1982), que as camadas arenosas e argilosas possuem mergulhos suaves no sentido das principais encostas, gerando planos de estratificações sub-horizontais que facilitam a percolação da água. Destacou ainda em seu trabalho que tais descontinuidades justificam a susceptibilidade de movimentos entre esses diferentes tipos faciológicos, independentemente da declividade dos taludes. O que é implementado pelas águas infiltradas a cada período de maior intensidade pluviométrica. Determinou que o argilomineral dominante é a caulinita e que seus

valores de atividade coloidal vão de baixo a moderado, situando-se na faixa das argilas inativas e normais. Verificou que os valores dos limites de Atterberg, colocados na carta de plasticidade, situam-se acima da linha "A", em sua maioria. Finalmente, verificou que o solo superficial apresenta elevada frequência de fendas abertas, resultantes da ação de contração, ou de eventual rastejamento. Situação que confere à água poder de fácil infiltração no terreno e, que a ocorrência de movimentos nas encostas está sempre ligada a um acréscimo das precipitações.

Carvalho Filho et alii (1987), desenvolvendo estudos geotécnicos específicos nas encostas de Maceió, onde realizou ensaios de cisalhamento direto em amostras indeformadas retiradas de seis taludes, caracterizou geotecnicamente aqueles solos conforme sintetizado no Quadro No. 02 - Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento.

Ainda segundo Carvalho Filho et alii (1987), as encostas existentes no município de Maceió-Al, são constituídas exclusivamente pelos extratos do Grupo Barreiras. Define ainda, no mesmo trabalho, que essas encostas são litologicamente constituídas de sedimentos Terciários mais ou menos friáveis, de granulação argilo-arenosa e areno-siltosa, com alguns acamamentos

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO GRUPO BARREIRAS

índices	tipos de solos		
físicos %	arenosos %	argilo-arenosos %	argilosos %
LL	0 - 18	25 - 53	50 - 93
IP	0 - 8	11 - 19	38 - 73
AREIA	75 - 97	54 - 73	10 - 35
SILTE	03 - 13	06 - 25	23 - 25
ARGILA	00 - 09	18 - 28	42 - 65
DEN.MAX.	1920 - 2000	1790 - 2020	-
UMID.OT.	10 - 13	11 - 12	-
CBR(AN)	17 - 21	17 - 18	-
EXP.(AN)	0.1 - 0.4	0.3	-

FONTE : Anjos, 1974

QUADRO Nº01 - Parâmetros Geotécnicos do Grupo Barreiras
obtidos em estudos geotécnicos realizados na
região SW de Feira de Santana-BA

sub-horizontais de boa coesão entre seus grãos. Descreve ainda que as fraturas de alívio de tensão são observadas com grande frequência. Continuando em suas observações, Carvalho Filho (1987), verificou estratificações verticais, recomendando que, para estes casos, a elaboração de planos de amostragem exigem, para representatividade do que se pretenda amostrar, que prevaleça a lógica observacional, associada a um grande sentimento de bom senso.

Andrade Filho (1988), pesquisou a "Estabilidade da Encosta Próxima à Torre Esquerda da Igreja do Carmo - Olinda-Pe" que, por tratar-se da mesma formação geológica das encostas de Maceió, torna-se importante ressaltar as características analisadas por aquele pesquisador. Em sua pesquisa o autor identifica um perfil geotécnico composto por uma sequência básica de cinco camadas, conforme mostrado no Quadro No. 03 - Perfil Geotécnico da Encosta Próxima à Torre Esquerda da Igreja do Carmo - Olinda-Pe.

Andrade Filho (1988), no mesmo trabalho, realizou uma análise mineralógica da fração tamanho argila da camada de solo 3 do perfil apresentado na Tabela No. 03, por difração de Raios-X, concluindo que a mesma é constituída basicamente pelo argilo mineral caulinita, com elevado grau de cristalização. Por tratar-se geologicamente da mesma formação das encostas de Maceió

Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento			
local	coesão -kPa-	ang. atrito	umidade %
Centro	16	33	22.0
Bolão	20	25	08.0
Jacintinho	10	34	18.5
Gruta Padre	00	38	16.0
Jacarecica	00	47	12.0
C.das Almas	00	58	12.0

FONTE: Carvalho Filho et alii, 1987

QUADRO Nº 02 - Resultado de Ensaios de Resistência à Ruptura em Algumas Encostas de Maceió

torna-se importante ressaltar os parâmetros ali analisados, para eventual necessidade de extrapolação de dados. Indicou ainda, Andrade Filho (1988), através de um perfil analítico, que os solos arenosos possuem limite de plasticidade da ordem de 10 a 15 e limite de liquidez da ordem de 30 a 40. Os solos argilosos possuem limite de plasticidade variando de 30 a 35, e o limite de liquidez de 50 a 60. Granulometricamente o solo possui 1% de areia média, 25% de areia fina, 30% de silte e 44% de argila. Determinou ainda, para o solo 3, ensaios de permeabilidade de carga variável, obtendo um coeficiente de permeabilidade para a amostra moldada verticalmente $K_v = 1.1 \times 10^{-7}$ cm/s e, horizontalmente, $K_H = 6.0 \times 10^{-7}$ cm/seg. Através de ensaio de permeabilidade in-situ, obteve $K_H = 1.5 \times 10^{-4}$ cm/s para o solo 4, e $K_H = 7.3 \times 10^{-8}$ cm/s para o solo 5.

Andrade Filho (1988), estudou também as características de resistência e deformabilidade do solo 3, através de ensaios triaxiais de compressão axial. Realizou ensaios drenados, não drenados, e não drenados sem saturação prévia e com consolidação isotrópica. Nos ensaios drenados as deformações plásticas iniciaram aos 4% da deformação axial específica. Já nos ensaios não drenados e não drenados com consolidação isotrópica, as deformações plásticas iniciaram aos 2% da deformação axial específica.

PERFIL GEOTÉCNICO DA ENCOSTA PRÓXIMA À TORRE ESQUERDA DA IGREJA DO CARMO - OLINDA-PE			
Prof.Média	Camada	No	Classificação do Solo
2.0		01	Ar. Arg. c/ restos de construção
1.5		02	Areia fina muito argilosa, amarela
3.5		03	Arg. Silt. verm.c/ faixas cinza
0.5		04	Areia Fina Argilosa, amarela
6.5		05	Arg. silt. cinz. c/cin. e amarelo
Camada de Calcáreo (Formação Maria Farinha)			

FONTE: Andrade Filho, 1988

QUADRO Nº 03 - Sequencia de Camadas de Solos no Grupo
Barreiras, ao Longo da Encosta Próxima à
Torre Esquerda da Igreja do Carmo, Olinda-PE

Para avaliar a resistência residual do solo, Andrade Filho (1988), realizou ensaios de cisalhamento direto com reversão múltipla. Para tal utilizou uma velocidade de deformação de 0,01801mm/min. até atingir uma deformação de 12%, ocasião em que retornou manualmente o corpo de prova à posição original, iniciando então novo ciclo de cisalhamento. Assim definiu a envoltória de resistência "quase residual" caracterizada pelas tensões cisalhantes "correspondentes ao início das deformações plásticas, que variam de 3% a 5%".

Andrade Filho (1988), no mesmo trabalho, procurou verificar as razões das diferentes colorações do solo, e se estas poderiam influenciar no seu comportamento mecânico, devido a diferentes características físico-químicas. Para tanto, executou análises químicas em quatro diferentes amostras, escolhidas pelas diferentes colorações apresentadas. Concluiu que as amostras das diferentes camadas possuem basicamente a mesma composição química, diferenciando apenas no teor de Fe_2O_3 , responsável pela coloração vermelha. Os métodos de análise utilizados foram:

-Fluorescência de Raios-X, para SiO_2 ; Al_2O_3 ; CaO ; MgO ; Fe_2O_3 e

TiO_2

-Absorção Atômica, para Na_2O e K_2O .

-Via Úmida para permanganato de potássio, e para FeO .

-Liberação por calcinação, para H_2O^+ .

Continuando, Andrade Filho (1988), descreveu o solo como de "coloração cinza-claro, com manchas vermelhas, com ocorrências de pequenas descontinuidades e planos de fraqueza".

Geologicamente constitui o Grupo Barreiras que, no local trabalhado, repousa discordantemente sobre o calcáreo da Formação Maria Farinha. Recomendou, por fim, este autor, no caso de reanálise deste solo, a utilização de corpos de provas com dimensões superiores a 1,5" x 3,0" para os ensaios triaxiais, visto que a heterogeneidade e as microdescontinuidades serão assim, melhor consideradas. Por fim, adotou para as areias $c' = 5 \text{ kpa}$ e $\phi' = 30^\circ$ e para as argilas adotou $c' = 13 \text{ kpa}$ e $\phi' = 25,7^\circ$.

2.6 - Aspectos Fisiográficos

Entre os condicionantes naturais que influem na estabilidade de encostas, os fatores fisiográficos merecem destaque especial; pois assumem papel preponderante. Dentre eles destacam-se o clima, o relevo e a vegetação.

2.6.1 - O Clima

O clima envolve uma série de elementos que, em maior ou menor grau, atuam na modelação do relevo e na ação desencadeadora da instabilidade das encostas.

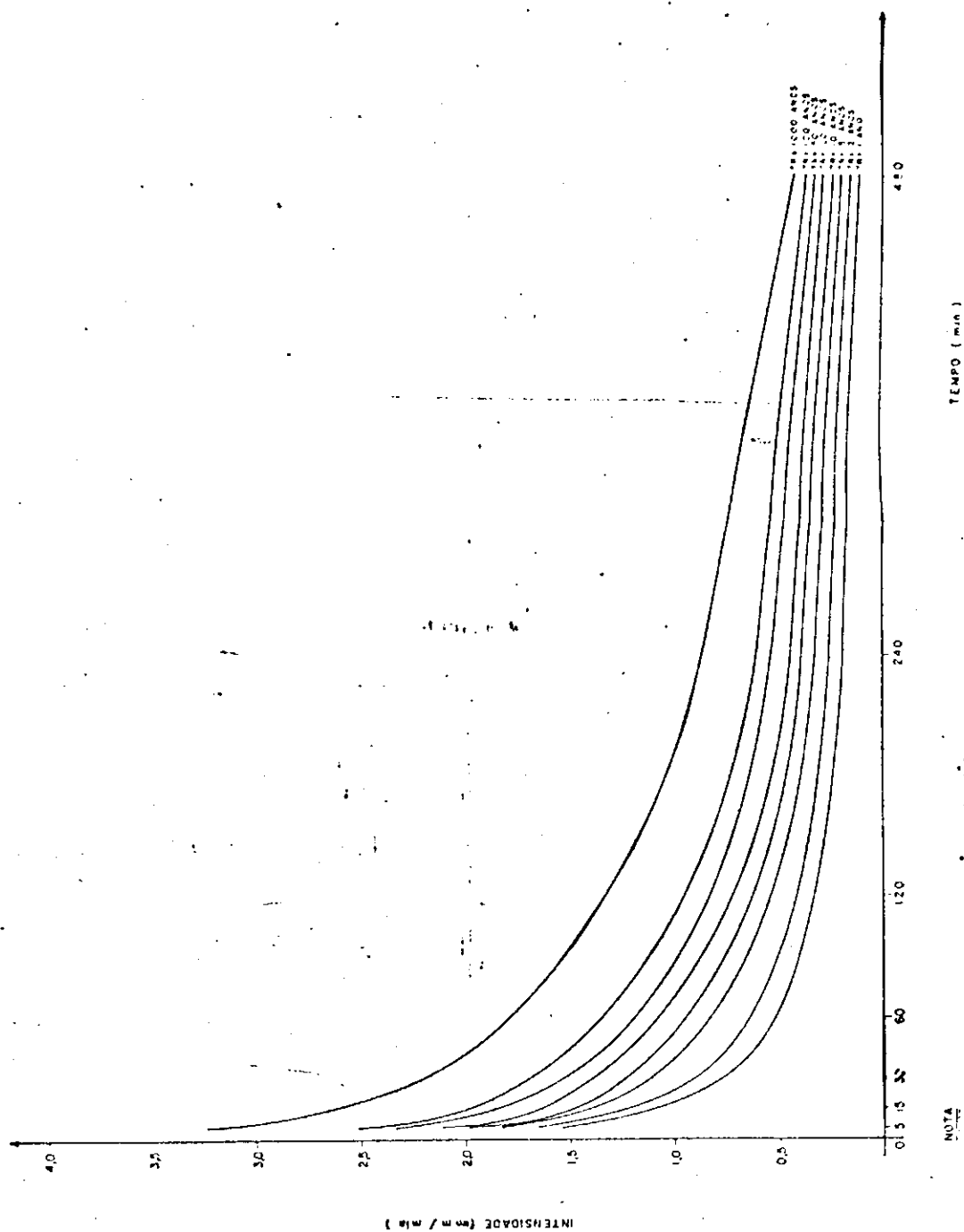
Segundo IBGE (1959), o município de Maceió apresenta os condicionantes climáticos referenciados abaixo.

A área apresenta duas estações anuais bem distintas. A estação chuvosa que se estende de março a agosto e o verão que se inicia em setembro e termina em fevereiro. A pluviosidade média anual é da ordem de 1700mm, com um regime de chuvas muito uniforme e marcante periodicidade. Wanderley et alli (1988), caracterizou em uma série de 22 anos que a periodicidade na qual observa-se maior intensidade de chuvas é o mês de maio. Na série estudada por Wanderley et alli (1988), situada entre os anos de 1963 a 1984, foi observada evapotranspiração potencial média de 1.373 mm anuais e a evapotranspiração real anual de 1.088 mm.

A Geotécnica S.A. (1983), em estudos de anteprojeto na área desta pesquisa elaborou gráfico onde mostra as chuvas de Intensidade, Duração e Frequência, mostradas no Gráfico No 01. Nestas curvas pode-se observar a ocorrência pluviométrica de até 32mm em 5 min (intensidade x duração), reafirmando a extrema importância dessas chuvas no fenômeno de instabilidade de encostas em Maceió.

Segundo o IBGE (1959), a média das temperaturas anuais oscilam entre 25^o e 26,4^o C. As temperaturas máximas absolutas são de 31^o C, e as mínimas são de 19^o C. Fevereiro e março são os meses mais quentes, enquanto julho e agosto são os mais frios. A amplitude térmica anual é muito pequena, não alcançando 5^o C.

A média da umidade relativa é de 79,2%, com valores mais elevados no período abril a agosto e valores mínimos nos meses novembro a fevereiro.



CURVA INTENSIDADE x DURAÇÃO
PARA MADEIRO

NOTA
ESTAS CURVAS FORAM OBTIDAS EM FUNÇÃO DA EQUAÇÃO
PROPOSTA NA PUBLICAÇÃO "CURVAS INTENSIDADE x DURAÇÃO"
ENOV Nº 2 DE SETEMBRO

FONTE: GEOTECNICA S.A. (1987)

RTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

GRAFICO Nº 01

A área encontra-se sobre ação dos ventos alíseos (ventos constantes) onde, de outubro a fevereiro predominam os de Nordeste, e de março a agosto os de Sudeste. São ventos de velocidade fraca a moderada, variando de 4,8km/h a 7,9km/h. A ação desses ventos é a responsável pelas formas litorâneas que ocorrem na orla marítima.

Esses elementos permitem classificar o clima da região como As', segundo a classificação de Koepen, ou seja, quente e úmido, com chuvas de outono e inverno.

2.6.2 - O Relêvo

O relêvo destaca-se pela existência de duas planícies. A dos tabuleiros e a faixa litorânea-lagunar. Essas planícies estão separadas entre si por taludes naturais (falésias e ribanceiras) que possuem as mais diferentes declividades, ora suaves, ora abruptas. Os tabuleiros caracterizam-se ainda pelo entrecortado de vales e cursos d'água em direção à costa litorânea. Assim, essas bruscas variações de cotas altimétricas, quer interligando planícies, quer configurando vales, constituem os taludes naturais objeto do Estudo de Estabilidade descrito no Capítulo 7.0, onde discute-se criteriosamente os resultados obtidos.

2.6.3 - Vegetação

A vegetação, condicionada pelo clima, relevo e, conseqüentemente, pelo solo, apresenta um esquema de distribuição que reflete bem essas influências. Assim, são encontradas na área a vegetação típica de mangue, a de terrenos arenosos, a vegetação de várzeas de rios e a vegetação dos tabuleiros. Aqui, nos condicionaremos apenas a esta última por constituir a vegetação natural das encostas locais e, por conseguinte, o objeto específico deste trabalho.

Primitivamente a área dos tabuleiros, e por conseguinte as encostas que os interligam à faixa litorânea lagunar, foi ocupada por uma floresta tropical úmida. Hoje essa floresta encontra-se totalmente devastada, em vista de sua ocupação pelo homem. Assim, o que resta da vegetação nativa são algumas árvores frutíferas em pequenos sítios, e capoeiras. Tudo devido à ação humana que, com sua capacidade modificadora, atua sobre grupos vegetais espontâneos, destruindo-os e desprotegendo os terrenos contra as erosões.

2.7 - Conclusões

O assentamento populacional na área que hoje corresponde à cidade de Maceió, remonta aos idos de 1611. Desde então sua ocupação desenvolveu-se sem planejamento e, por conseguinte, de

forma desordenada. Seguramente, a população mais desfavorecida sócio-econômicamente, habita as áreas também mais desfavorecidas no que tange a segurança: as encostas.

Essas encostas são constituídas geologicamente pelos sedimentos friáveis do Grupo Barreiras, implicando em deduções geotécnicas de baixa resistência à ruptura, principalmente quando em condições de elevada umidade. Desprovidas de sua vegetação original pela ação do homem, ficam expostas a ação das chuvas e, por isso, instáveis.

CAPÍTULO III

3.0 - CARACTERÍSTICAS E CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS

3.1 - Os Casos de Escorregamentos na Cidade de Maceió

As cidades brasileiras nasceram sem que houvesse maior preocupação com as características do meio físico. De modo geral considerou-se apenas os aspectos topográficos, de ocorrências naturais de materiais de construção e disponibilidade de água.

Nas últimas décadas, a intensificação da expansão urbana em detrimento das atividades agrícolas têm apresentado fortíssimos reflexos de degradação ambiental. Tudo como consequência colateral da incessante busca do lucro imediato. Esse quadro tem requerido a adoção de medidas corretivas, sempre caras e comumente paliativas ou inócuas, pelo desconhecimento dos fatores geotécnicos atuantes. A Figura No. 02, esboço genérico do uso e ocupação do solo de parte da Cidade de Maceió, mostra com clareza a pequena área de atividades agrícolas, contrastando com a grande expansão urbana existente.

A ocupação urbana inadequada tem provocado a degradação do meio ambiente através de desmatamentos, erosões, escorregamentos de solos, e poluição do ar, do solo e da água. Assim, a falta de disciplina na ocupação do solo, tem colocado em risco a ordenação racional de algumas cidades, principalmente pela intensa ocupação de áreas que poderiam ser de preservação, a exemplo de algumas encostas naturais.

A exploração, também indiscriminada, das ocorrências de materiais de emprego imediato na construção civil, através de desmontes de taludes naturais, têm provocado invariavelmente, a alteração da geometria do sistema e, assim, desestabilizando a encosta, até então em equilíbrio.

Como as soluções para os problemas gerados pelo uso inadequado dos solos, têm sido voltadas para atuar sobre os efeitos e não sobre as causas, exigindo enormes somas de recursos financeiros, neste trabalho, através de elevada objetividade, desenvolve-se um esforço dirigido ao ataque às causas.

O conhecimento do meio físico, indispensável ao uso e ocupação racional do solo, exige uma abordagem multidisciplinar, em que sobressai-se a visão da geologia de engenharia que, através do conhecimento das solicitações impostas ao meio físico, pode auxiliar, com maior racionalidade e abrangência de visão, quais as consequências advindas de determinadas alterações do sistema. Por analisar a relação causa/efeito, a geologia de engenharia auxilia a propor medidas preventivas ou corretivas, de forma a harmonizar a ocupação do meio físico.

3.2 - Avaliação dos Fenômenos Atuantes nos Escorregamentos

Segundo Anjos e Nóbrega (1989), os escorregamentos de taludes podem ter inúmeros agentes agindo isoladamente ou, ainda, interagindo entre si. Buscando o seu conhecimento, serão descritos os principais fenômenos e seus respectivos agentes, através de enfoques puramente qualitativos.

3.2.1 - Agentes Geomecânicos

3.2.1.1 Gravidade

A gravidade é sem dúvida o principal dos agentes. Segundo Guidicini e Nieble(1976), atua ativamente como vetor cisalhante, de forma constante e permanente. Não há como evitá-la, minimizá-la ou cessá-la. As soluções para os estudos de estabilidade levam em conta seus efeitos traduzidos em forma de peso próprio do maciço ou densidade do solo. Interage, concomitantemente, com as forças atuantes.

3.2.1.2 Geologia

Os aspectos geológicos de uma encosta traduzem a sua maior ou menor susceptibilidade aos escorregamentos. Os fatores geológicos mais importantes são os falhamentos, os fraturamentos, as inclinações das camadas, estratificação e a litologia, traduzida em termos de tamanho, formato e qualidade mineralógica dos grãos.

As falhas geológicas, se ativas, possuem um caráter de movimento cisalhante no maciço que, independentemente de toda e qualquer análise de estabilidade, coloca a encosta ou talude em risco eminente de ruptura. Caso o falhamento não mais apresente movimento relativo no interior do maciço, o risco de ruptura continuará, apesar de em menor grau, no caso do plano de fraqueza estrutural mergulhar na mesma direção da inclinação do talude.

Os fraturamentos também possuem influências preponderantes no que tange à instabilidade das encostas. Esses fraturamentos podem ter as mais variadas origens, porém todos facilitam a infiltração e percolação d'água. As fraturas originadas por alívio de pressão são as mais perigosas e por isso as mais importantes. São causadas por erosões naturais ou por ações antrópicas. Desenvolvem-se paralelamente à superfície do terreno, o que minimiza as forças resistentes segundo esses planos de fraturas.

A estratificação do solo só oferece risco quando seus planos mergulham na mesma direção da inclinação do talude. Essa estratificação deve ser tratada como tal. Em função das espessuras dos seus estratos, cada camada deve ser analisada isoladamente, estrato por estrato, adotando-se a situação mais pessimista.

A litologia assume importância vital, oferecendo um extenso leque de variações, como mineralogia dos grãos, dureza, formato, diâmetro, material cimentante, etc.. Todas mensuráveis qualitativa e quantitativamente. Complementarmente, é indicativa da fertilidade do solo, permitindo prever a cobertura vegetal ideal para recompor e proteger taludes e encostas.

3.2.1.3 Águas Pluviais

As águas pluviais podem ser prejudiciais à estabilidade dos taludes, principalmente quando esses taludes encontram-se desprotegidos de cobertura vegetal e/ou de um competente sistema de drenagem. Os principais impactos causados são: erosão, infiltração, percolação, liquefação e, finalmente, o deslizamento.

A erosão é provocada pelo escoamento superficial que, pela velocidade tanto maior quanto mais vertical e/ou alto for o talude, assume uma capacidade de transporte bastante elevada. Concomitantemente, o impacto da chuva no talude, solta os grãos do solo que são carregados junto com o material cimentante, em suspensão.

A infiltração e a percolação são também danosas por, através da saturação do solo, promover o incremento da pressão neutra, o acréscimo do peso próprio do maciço, e o decréscimo das forças de resistência.

A liquefação, estudada por Badillo (1979), e mais recentemente por Poulos (1985), ocorre quando o solo, na zona de deslizamento, passa rapidamente de uma condição de sólido para uma condição de suspensão, com perda quase total de resistência aos esforços cisalhantes. É comum ocorrer nas areias pouco compactas e em argilas extrasensitivas. O processo se dá através de intenso fluxo d'água que percola próximo à superfície do talude, anulando, através das dissipações das tensões neutras, o atrito existente grão-a-grão, e levando a zero a coesão. Se processa através de um escoamento turbulento em superfície e laminar no interior do maciço.

3.2.1.4 Inclinação

A inclinação de um talude, associada à sua geometria, assume papel preponderante no estudo de estabilidade, uma vez que, dos parâmetros utilizáveis para o cálculo dessa estabilidade, a inclinação é o único elemento que pode ser modificado para maior ou menor, associando o equilíbrio de forças com a minimização dos custos de escavação e transporte. Por fim, artifícios geométricos de escalonamentos podem substituir determinados ângulos de inclinação, com favorecimento de menor movimento de massa.

3.2.1.5 Chuvas Intensas

As chuvas intensas têm sido a razão de muitos escorregamentos de taludes, principalmente pelo seu poder de

liquefação do solo, associado à sua competência de infiltração, percolação e erosão. O somatório destes fatores promove um caráter extremamente danoso que, por muitas vezes, assumem dimensões catastróficas.

3.2.1.6 Oscilação Térmica

De acordo com Guidicini e Nieble(1976), a oscilação térmica é tão danosa quanto maior for seu intervalo. O aquecimento diurno e resfriamento noturno provocam verdadeiros ciclos de dilatação e contração nos minerais constituintes do maciço. Esses minerais que por possuírem diferentes coeficientes de dilatação, dilatam-se diferentemente e, ao atingirem o limite de fadiga, fraturam-se, paulatinamente, criando zonas de fraqueza estrutural.

3.2.1.7 Alterações na Geometria do Sistema

A geometria das encostas urbanas são normalmente alteradas pela ação antrópica. Ocorre devido à incessante busca de material para emprego imediato na construção civil, ou ainda pela necessidade de alargamento de vias urbanas nos grandes centros populacionais.

3.2.1.8 Regime de Água Subterrânea

As águas subterrâneas e os lençóis freáticos localizados possuem um regime cíclico de variação de seu nível estático. Essa variação do nível estático promove uma variação nos níveis piezométricos que, por sua vez, implica no aumento das pressões hidrostáticas na época invernososa, diminuindo a resistência ao cisalhamento dos solos. Como a pressão hidrostática é diretamente proporcional a altura do nível d'água, quanto mais alto for o nível freático, maior será a força cisalhante atuante. Por outro lado, o acréscimo da pressão hidrostática implicará em um incremento de pressão neutra e diminuição da coesão do solo. Desta forma, o somatório dos fatores negativos, promovem um elevado acréscimo das forças atuantes, culminando com o desequilíbrio do sistema de forças. Na área pesquisada, os exutórios (níveis freáticos) encontram-se em cotas altimétricas bastante inferiores à base das encostas, não contribuindo, portanto, para a instabilidade.

3.2.1.9 Rebaixamento Rápido do Lençol Freático

Esta é uma situação mais voltada aos taludes de montante de reservatórios, ou encostas de vales com rios sujeitos a fortes cheias. Não constituindo-se, portanto, em fator geomecânico de risco às encostas urbanas da cidade de Maceió. Desta forma, as considerações inerentes a esta situação serão aqui dispensadas.

3.2.1.10 Vegetação

Prandini et alii (1976) e Gariglio (1987), são unânimes em afirmar que a vegetação é um agente estabilizador de encostas. É também consenso generalizado entre os pesquisadores que a falta de vegetação pode promover não somente a erosão, mas também movimentos generalizados de solos. Independentemente de seu porte, a vegetação intercepta a água de chuva, promove a defesa do terreno contra o impacto das gotas d'água, minimiza os efeitos erosivos, retém considerável volume d'água, minimiza a velocidade de escoamento, e dificulta a saturação. Protege o maciço de considerável taxa de trabalho proveniente das variações de temperaturas e umidades.

3.2.1.11 Sobrecargas

As sobrecargas ocorrem aumentando as forças atuantes. São normalmente promovidas por edificações erguidas sobre a encosta, permitindo às vezes, que a distribuição de pressões da fundação intercepte a "saia do talude" ou o círculo crítico de escorregamento, criando uma situação de ruptura. É um caso típico de impacto ambiental de risco urbano, razão de sérios e extensos trabalhos de pesquisa ambiental.

3.3 - Identificação das Causas Existentes

As encostas em questão constituem-se de sedimentos friáveis com horizontes de variadas tonalidades e espessuras. Apresentam granulometria variando a cada extrato, podendo ser argiloso, arenoso ou, no que é mais comum, um misto dessas granulometrias, ora com predominância de uma, ora com predominância da outra. Por vezes esses extratos ou camadas apresentam ligeira inclinação ou mergulho no sentido das encostas. Essas encostas cortam toda a cidade de Maceió, separando sua planície marinha/lagunar, da região dos tabuleiros.

Anjos (1991) pesquisando as encostas em questão, publicou que pela razão de situarem-se em áreas urbanas, e por isso habitadas, oferecem adicionalmente condições geotécnicas bem mais desfavoráveis. São elas:

- a) Uma sobrecarga provocada pelas edificações, aumentando o peso próprio do maciço;
- b) As edificações constituem-se ainda em verdadeiras barreiras ao escoamento superficial. Fator extremamente maléfico, quer pelo incremento de infiltração e percolação, quer pelo incremento do peso próprio do maciço;

c) Deposição de lixo residencial ao longo das encostas, formando barreiras aos escoamentos superficiais, e favorecendo as infiltrações geotecnicamente negativas;

d) Constantes infiltrações de dejetos sanitários, provocando uma constante drenagem interna e, por vezes, contaminando o aquífero subterrâneo;

e) Exploração d'água através de poços amazonas (cacimbas), criando zonas de alívio de pressão e, por conseguinte, zonas preferenciais de percolação, o que implica em zonas de fraqueza estrutural propícia ao deslizamento, além da variação no nível estático do lençol freático;

f) Descaracterização da geometria dos taludes onde, através da ação antrópica, verifica-se crescente retirada de material de construção na base da encosta, minimizando as forças resistentes aos escorregamentos;

g) Retirada da vegetação existente quer para a criação de ruas ou caminhos, quer para construir calçadas ou "terreiros". Este ato impróprio permite a erosão do talude e facilita as infiltrações.

3.4 - Conclusões

Em Maceió, devido a expansão urbana acelerada e desordenada, as encostas têm sido alvo ora de assentamentos por população de baixa renda, ora de escavações que buscam a exploração de materiais para emprego imediato na construção civil. Estes fatores, interagindo com os agentes atmosféricos e intempéricos, propiciam a vulnerabilidade das encostas aos escorregamentos.

A gravidade, por si só é um vetor real e permanente, que torna-se tanto mais intenso quanto mais alta for a encosta.

Geologicamente, o fator mais importante verificado é o alívio de tensões associado às oscilações térmicas, que provocam fraturas verticais no topo das encostas.

As águas pluviais constituem-se indiscutivelmente no mais importante dos agentes geomecânicos causadores dos escorregamentos. Isto deve-se, principalmente pela má distribuição pluviométrica ao longo do ano e, conseqüente concentração de chuvas em períodos relativamente curtos, erodindo, percolando e desequilibrando o sistema de forças existente.

As alterações na geometria do sistema através de escavação do pé da encosta em busca de material de construção é uma constante na cidade de Maceió. Esta prática torna-se condenável por descalçar o talude, permitindo que o mesmo torne-se instável.

O regime de água subterrânea propriamente dita não constitui risco, pois os aquíferos encontram-se em cotas muito mais baixas que a base das encostas. No entanto o regime de infiltração e percolação das águas pluviais propiciam, nos períodos chuvosos, um comportamento geotecnicaamente similar às variações de nível freático.

A ocupação indiscriminada é, potencialmente, devastadora da vegetação e, desta forma, desestabilizadora da encosta que estará vulnerável aos movimentos generalizados de solos.

Uma vez que não se pode aumentar as forças resistentes, a única solução é, inquestionavelmente, o controle da magnitude das forças atuantes. Esse controle pode e deve ser feito através do conhecimento detalhado do comportamento de cada camada de solo, quando submetida a um sistema de forças cisalhantes.

CAPÍTULO IV

4.0 - CARACTERÍSTICAS DAS ENCOSTAS OBJETOS DESTA PESQUISA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, as encostas foram analisadas conforme suas características significativas visando uma abordagem mais representativa.

4.1 - Características Gerais

As encostas do Município de Maceió podem ser geomorfologicamente subdivididas em Falésias e Ribanceiras. São as Falésias aquelas encostas com caimento para a planície litorânea, e as Ribanceiras são as encostas com caimento para as planícies lagunar e fluvial.

Procurou-se aqui ampliar a amostragem desdobrando as Ribanceiras em dois tipos de encostas: encostas com caimento para

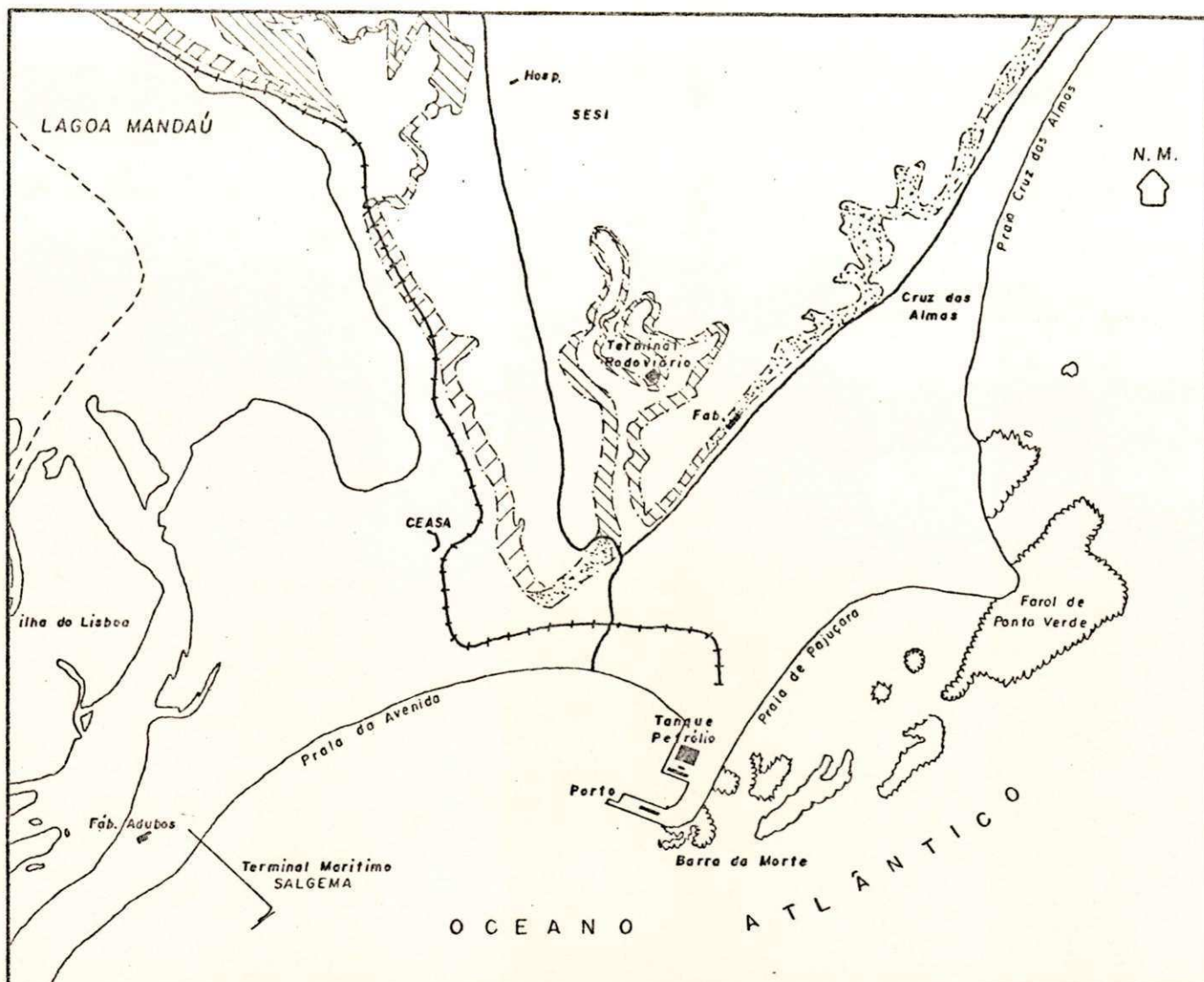
a planície lagunar, e encostas com caimento para a planície fluvial. Desta forma, obteve-se como produto final a Figura 05, que apresenta a Localização das Encostas Geomorfológicamente Homólogas em Parte da Cidade de Maceió-AL.

4.1.1 - Localização das Encostas

As encostas com inclinação para a planície lagunar situam-se na área oeste da cidade de Maceió, tendo em sua base sedimentos lagunares provenientes da Lagoa Mundaú ali situada. Estas encostas compõem parte dos Bairros Cambona, Mutange e Bebedouro, perfazendo, na área em estudo cerca de 06 (seis) quilômetros de extensão, com uma altura média de 40 metros. Seu acesso é efetuado a partir do centro da cidade tomando-se a Praça dos Martírios e daí, pela Rua General Hermes onde corta o Bairro da Cambona, passando em seguida pelo Bairro do Mutange e, por fim, pela Rua e Faustino Silveira que atravessa o Bairro de Bebedouro. A Figura No. 05, localização das encostas geomorfológicamente homólogas em parte da cidade de Maceió-AL, ilustra bem o descrito.

As encostas com inclinação para a planície fluvial situam-se em sua menor parte nas circunvizinhanças do Bairro Chã da Jaqueira e em sua maior parte, às margens do Riacho Reginaldo. As primeiras situam-se a noroeste da área pesquisada, confundindo-se, por vezes, com as encostas com caimento para a

planície lagunar, como mostra a Figura No. 05, localização das encostas geomorfologicamente homólogas em parte da cidade de Maceió-AL. As últimas situam-se em um entalhe erosivo do Riacho Reginaldo, localizado na parte centro-sul da área, onde a direção do entalhe é N-S. O acesso às primeiras é realizado a partir do Bairro de Bebedouro através da Rua Jonas Malta de Alencar. O acesso às últimas é efetuado a partir da Praça Bom Fim no Bairro de Bom Parto onde, margeando-se o riacho Reginaldo percorre-se 1,5 Km em rua de difícil acesso. Possuem altitude média de 40 (quarenta) metros e uma extensão linear de cerca de 5,0 (cinco) Km. As encostas com inclinação para a planície litorânea encontram-se desde a parte sul da área, onde situa-se o centro da cidade, e estendem-se para sudeste cortando parte dos Bairros do Poço, Bom Parto e Mangabeiras. Daí alinham-se em direção aos setores leste e nordeste da área, onde compõe parte dos Bairros de Mangabeiras, Cruz das Almas e Jacarecica. Totalizando cerca de 8,0 (oito) Km de encostas. No Bairro do Poço o acesso é realizado ao longo de 1,2 Km através da Rua Barão de Atalaia. No Bairro de Mangabeiras atinge-se as encostas através das Avenidas Comendador Calça e Gustavo Paiva. Por fim, nos Bairros de Cruz das Almas e Jacarecica, as encostas são alcançadas através da rodovia AL-101 Norte, que liga Maceió ao Estado de Pernambuco e, daí, a Recife, sua Capital. Conforme pode-se observar na Figura No. 05, localização das encostas geomorfologicamente homólogas.



ESCALA 1:62.500

LOCALIZAÇÃO DAS ENCOSTAS GEOTECNICAMENTE HOMÓLOGAS EM PARTE DA CIDADE DE MACEIÓ - AL

FONTE: BASE PLANIMÉTRICA IBGE - FOLHAS SC.25-V-C-IV (PILAR) E SC.25-V-C-2 (MACEIÓ)



ENCOSTAS COM CAIMENTO PARA A PLANÍCIE LAGUNAR



ENCOSTAS COM CAIMENTO PARA A PLANÍCIE MARINHA



ENCOSTAS COM CAIMENTO PARA PLANÍCIE FLUVIAL

ESCALA ORIGINAL 1:10.000

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 05

4.1.2 - Situação Sócio-Econômica

Nas cidades em franco desenvolvimento e acelerada expansão urbana, as encostas têm-se constituído na melhor opção da população de baixa renda para o seu assentamento. São vários os motivos que favorecem essa ocupação indiscriminada do solo. As razões e necessidades sociológicas dessas populações de baixa renda são tão fortes que mesmo diante de eminente risco de vida, relutam com firmeza em afastar-se daquele local em busca de moradia mais segura, por ser mais distante e, por isso, na maioria das vezes, mais dispendiosa.

Este comportamento generalizado foi uma constante observada em todas as encostas pesquisadas. O simples panorama visual é o retrato maior dessa realidade sociológica.

De todas as encostas observadas, as que compõem a planície fluvial e mais especialmente às margens do riacho Reginaldo II, são as que apresentam situação sócio-econômica de maior carência. Ali, pode-se enfatizar, impera a sobrevida. Existem casas (também chamadas de biongos) que possuem área coberta de apenas 06 m². A Região é ainda desprovida de água potável, energia elétrica e sistema sanitário.

As encostas com caimento para a planície lagunar mostram-se também com uma situação sócio-econômica de elevada carência. São densamente habitadas, porém já possuem, em alguns casos isolados, sistemas de urbanização que minimizam bastante suas condições de moradia. O que também minimiza a situação de

carência é a circunvizinhança de bairros bem estruturados e bem servidos pela municipalidade como Cambona, Mutange e Bebedouro, o que propicia um maior "status-quo" e, com isso, filtro do poder aquisitivo dos moradores.

Por fim, as encostas que possuem inclinação para a planície litorânea situam-se em áreas do mais alto valor imobiliário. Por esta razão, acredita-se, a população de baixa renda já foi praticamente evacuada pela força do poder especulativo. Verificou-se apenas, como remanescente desses assentamentos uma ocupação de vulto. Situada no Bairro de Cruz das Almas, essa ocupação acima referida e autodenominada "Vila Novo Horizonte" localiza-se mais precisamente por trás do Condomínio Residencial D. Adelmo Machado. É um assentamento típico de afavelamento. Não conta com os serviços públicos de água, energia elétrica, coleta de lixo e esgotos sanitários. É bastante curioso o estudo do comportamento dos que ali habitam. É mais curioso ainda a impotência e a inércia governamental diante dessa realidade. Casas condenadas pela Defesa Civil do Estado há mais de quatro anos, continuam habitadas. É o exemplo da Rua Faustino Silveira no Bairro de Bebedouro. As medidas preventivas são anunciadas por ocasião da ocorrência das catástrofes, porém raramente postas em prática. Mais raramente ainda são conhecidas as medidas corretivas. No entanto esse assentamento indiscriminado cessa à medida que a área onde situa-se a encosta torna-se, gradativamente, especulada e valorizada. Com isso, sugerindo, que o poder do capital é mais

convicente que o poder de polícia exercido pelo Estado e, mais ainda, que o desejo à longevidade.

4.2 - Aspectos Geológicos das Encostas

As encostas objeto da presente pesquisa são todas compostas por sedimentos terciários da Formação Guararapes do Grupo Barreiras. São sedimentos variegados e pouco cimentados, possuindo baixa diagênese e, por isso, de elevada friabilidade. Apresentam uma discreta estratificação cruzada com mergulhos ou inclinações pouco pronunciados ou sub-horizontais. Abordar-se-á a seguir, os tópicos mais importantes, referentes aos aspectos geológicos das encostas.

4.2.1 - Litologia

Litologicamente, as encostas possuem horizontes de areia quartzosa que grada de tons mais claros para os mais escuros, possivelmente devido a maior ou menor presença de óxidos de ferro. Esses horizontes mostram-se por vezes bastante argilosos e avermelhados caracterizando uma maior concentração de óxidos de ferro nos horizontes inferiores e, com isso, a laterização desses horizontes. Também ocorrem lentes arcoseanas com bolsões de caulim e, às vezes, concreções caulíníticas. Por fim, observa-se horizontes de seixos de quartzo rolado que localmente ocorre nas camadas mais inferiores.

4.2.2 - Aspectos Estruturais

Estruturalmente buscou-se confirmar a inexistência de fenômenos tectônicos como os falhamentos e as dobras. Verificou-se a total inexistência de tectonismo nesses sedimentos. Procurou-se então identificar os possíveis planos de fraqueza estrutural que vislumbraassem a possibilidade, por mais remota que fosse, de constituir-se em futuras zonas preferenciais de ruptura de talude. Desta forma, foram reconhecidos os planos de estratificação e os planos de fratura de tensão. Os primeiros, pela sua suave inclinação, não sugerem a possibilidade de, sozinhos, promoverem a instabilidade de uma encosta. No entanto, as fraturas de tensão, pela verticalidade assumida, associadas à sua localização, geralmente no topo da encosta, constituem-se no indicador maior da instabilidade. Essas fraturas, também chamadas de crack, encontram-se normalmente camufladas pela vegetação, por colúvios recentes ou ainda pelo próprio anteparo das edificações das populações de baixa renda que, uma vez assentadas, encobrem as trincas naturais sotopostas às casas, terreiros ou "ruas".

4.2.3 - Solos Originados

O contexto climático da área, associado ao fato das rochas (Formação Guararapes - Grupo Barreiras) existentes pertencerem ao período terciário (rochas relativamente recentes), não propicia a possibilidade de solos profundos. No entanto, a friabilidade desta rocha sedimentar faz com que tenha um compor-

tamento similar ao do solo e, como solo, é aqui tratada. Desta forma, pode-se afirmar que suas características tácteis visuais são as seguintes:

- solo arenoso esbranquiçado;
- solo arenoso amarelo claro;
- solo areno argiloso amarelado;
- solo areno argiloso amarelo escuro a avermelhado;
- solo arenoso com seixos de quartzo rolado;
- solo arenoso argiloso vermelho escuro com concreções lateríticas;
- solo arenoso vermelho escuro com pedregulhos, e
- solo areno argiloso amarelo claro com concreções de caulim.

4.3 - Aspectos Geotécnicos das Encostas

As encostas existentes no município de Maceió são todas carentes de estudos, quer sobre sua erodibilidade, quer sobre sua estabilidade propriamente dita.

Os primeiros estudos em busca de conhecimento sobre seu comportamento foram escritos por Lamego (1944) que apenas descreveu o "Desabamento do Morro do Faról" na forma de um simples relato e sem nenhuma pretensão técnica. Posteriormente, Carvalho Filho et alii (1987) realizou a primeira etapa do "Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió", onde tratou as encostas de forma muito superficial, deixando subtender que estudos mais detalhados deverão fazer parte integrante da segunda etapa do projeto. Mais

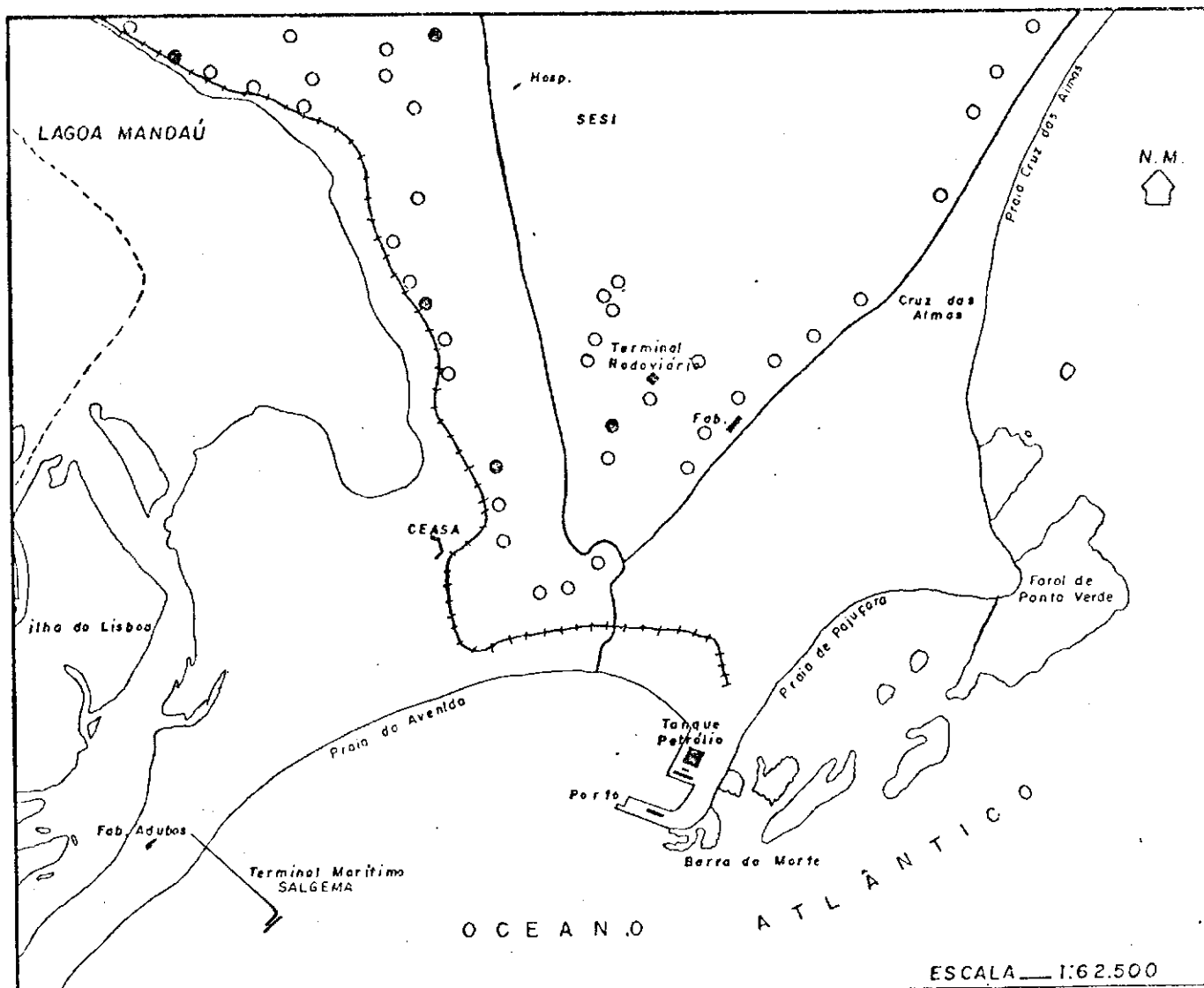
recentemente, Anjos (1991), através de inspeções localizadas identificou fatores geomecânicos de instabilidade, porém sem nenhum aprofundamento em análises laboratoriais. Ficaram assim, as encostas carentes de maiores e melhores estudos sobre seu comportamento.

4.3.1 - Caracterização e Escolha das Encostas

A presente pesquisa, devido à importância geotécnica e técnico-social a que se propõe, não poderia deixar de embasar, justificadamente, a escolha das encostas ora contempladas.

Passou-se então a trabalhar com uma série de variáveis integrantes de um universo heterogêneo e complexo, as quais são a seguir citadas:

- encostas assentadas por população de baixa renda e que ofereçam risco de vida aos seus ocupantes;
- encostas que já tenham sido alvo de escorregamentos anteriores;
- encostas com declividade superior a 45%;
- encostas desprovidas de sistemas de proteção ou contenção, inclusive urbanização;
- encostas onde as escavações para coleta de amostras não viessem constituir risco de incrementar a instabilidade já eminente e,
- encostas que permitam o acesso de veículos para o transporte de amostras.



LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ENCOSTAS COM DECLIVIDADE SUPERIORES A 45%

○ ENCOSTA COM DECLIVIDADE SUPERIOR A 45%

● ENCOSTAS SELECIONADAS P/ PESQUISA

FONTE: BARRETO, EVERALDO T. E ALMEIDA COSTA, JOVESI IN CARVALHO FILHO (1987)

ESCALA ORIGINAL 1:10.000

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 06

Após o cruzamento das variáveis citadas, procurou-se dentro do quadro das encostas geomorfologicamente homólogas, aquelas que refletissem uma representabilidade do universo trabalhado, o que culminou com a elaboração de uma planta de Localização das Principais Encostas com Declividades Superiores a 45%, conforme observa-se na Figura No. 06, localização das principais encostas com declividade superiores a 45%.

Assim, descreve-se abaixo, com enfoque técnico-social, os três tipos de encostas geomorfologicamente homólogas para, ao final, e dentro de cada zona geomorfológica, definir qualitativa e quantitativamente os locais a serem pesquisados.

4.3.1.1 - Encostas com Inclinação Para a Planície Fluvial

De todas as encostas de Maceió, estas se destacam por sediar um maior grau de pobreza e promiscuidade. São as mais esquecidas pelo poder público, uma vez que não foram contempladas quer com obras de urbanização, quer com obras de contenção ou proteção. São encostas escavadas no tabuleiro através do processo erosivo de cursos d'água.

A planície fluvial formada pelo sistema Reginaldo-Salgadinho, possui uma extensão de aproximadamente 5,0 (cinco) quilômetros, com vertentes de até 60 (sessenta) metros.

A planície fluvial da zona noroeste da área, foi formada a partir de um sistema pluviométrico de cabeceiras, modelando o relevo da região. Possui pequena extensão, porém de apreciável largura. Recorta o tabuleiro em sistema de leque drenando suas águas para a planície lagunar.

Os solos constituintes das encostas destas duas planícies fluviais são bastante diferentes, inclusive quanto à sua coloração. Costumeiramente mostram-se instáveis por ocasião de chuvas duradouras. Em face da elevada ocupação, os escorregamentos dessas encostas costumam deixar o saldo de dezenas de vidas ceifadas.

Decidiu-se, então, por uma amostragem em cada uma das duas planícies fluviais. A primeira amostragem contemplou a encosta situada à rua Diegues Júnior, localizada na margem direita do riacho Reginaldo, distando cerca de 150 (cento e cinquenta) metros da ponte da rodoviária nova. A segunda coleta contemplou a encosta da rua Jonatas Malta de Alencar, em frente à casa de No. 720, no Bairro de Chã da Jaqueira.

Os dois locais de coletas foram escolhidos, sobre tudo, por possuírem um solo representativo das encostas circunvizinhas. Além do mais, evidentemente, por serem densamente habitadas, o que coloca em risco um sem número de vidas humanas.

4.3.1.2 Encostas com Caimento Para a Planície Lagunar

Estas encostas encontram-se quase que totalmente ocupadas e, em muitos casos, urbanizadas pelo poder público municipal, ou ainda com sistemas de contenção e proteção a exemplo de Gruta do Padre e Bolão II.

São encostas de elevadas declividades, normalmente acima de 50^o e elevação média da ordem de 40 (quarenta)m. Os solos são normalmente argilosos avermelhados de ton escuro e, por vezes, com concreções ferruginosas e seixos de quartzo rolados. Ao longo de sua extensão apresentam grandes variedades de solos. O que é totalmente compatível com o ciclo sedimentar das rochas do Grupo Barreiras.

Por ocasião de chuvas duradouras, essas encostas costumam romper seu estado de equilíbrio e, durante seus deslizamentos, provocar vítimas fatais.

A escolha de locais para coleta de amostras é alvo de uma série de limitações de ordem prática, entre estas limitações, pode-se citar:

- adensamento habitacional da encosta, dificultando a inspeção visual e coleta ;
- sistema de urbanização, impedindo as inspeções visuais;
- inacessibilidade à verticalidade da maioria das encostas;
- acúmulo de colúvio na base das encostas, dificultando o acesso.

Desta forma, optou-se por três encostas. A primeira encosta fica situada no Bairro do Mutange, margeando a rua Major Cícero de Góes Monteiro, em frente a Associação dos Professores do Estado de Alagoas. A segunda encosta escolhida foi a encosta Bolão I, Bairro da Cambona, confluência da rua General Hermes com a perimetral leste-oeste. A terceira encosta escolhida foi no Bairro de Bebedouro, na rua Faustino Silveira, em frente ao No. 455.

4.3.1.3 - Encostas com Inclinação Para a Planície Litorânea

De todas as encostas, estas são as que apresentam maiores dificuldades às coletas, visto que trata-se de áreas mais valorizadas e, por isso, mais densamente habitadas e protegidas. Essas encostas, no centro da cidade, margeiam a rua Barão de Atalaia, prolongam-se pelos Bairros do Poço e Mangabeiras. Daí, até os Bairros de Cruz das Almas e Jacarecica ao longo da rodovia Al - 101. Estendem-se na área pesquisada por cerca de 8,0 (oito) Km. São, em geral, extremamente arenosas, propiciando, antes de tudo, uma instabilidade erosiva e, dado a friabilidade desses solos arenosos, de difícilíssima moldagem de amostras indeformadas.

No tocante à necessidade de análise, destacou-se duas encostas. A primeira situa-se ao lado do condomínio residencial D. Adelmo Machado no Bairro de Cruz das Almas e, a segunda encosta, ao lado do condomínio Residencial Jacarecica, no Bairro de Jacarecica. Nestas duas encostas, apesar de inspirarem cuidados

especiais e carecerem de detalhados estudos de estabilidade, não foi possível a coleta de amostras. Isso devido ao fato das duas possuírem altura da ordem de 30 (trinta) m, onde os primeiros dois terços são compostos por solos oriundos de escorregamentos, e o terço superior constituído de uma verticalidade inacessível. Como nessas duas encostas predomina a heterogeneidade estratigráfica, não há confiabilidade nem representatividade de uma eventual coleta nos primeiros dois terços. Por fim, no terço superior é impraticável qualquer coleta ou ensaio, quer pela dificuldade de acesso, quer por questões de segurança. Desta forma, optou-se por deixar estas duas encostas para um estudo de estabilidade mais específico e mais localizado, cujas amostragens sejam realizadas através de poços de sondagens.

As demais encostas não refletiram, pelo menos em uma primeira análise, características de instabilidade, até porque a sistemática do processo erosivo remodelaram o relevo, entrecortando e suavizando as encostas. Quando não, o elevado poder aquisitivo dos proprietários locais conduz a projetos e execução de obras de contenção com recursos próprios.

Dado aos elevados valores imobiliários da área, muitos proprietários, em sua maioria pessoas jurídicas, minimizam os riscos de seus investimentos contendo essas encostas com pequenos muros de arrimo. Exemplos disso podem ser observados nos terrenos de propriedade das empresas São Domingos, CICOSA, SOCOCO, J.L., entre outros. Desta forma, as encostas com caimento para a

planície litorânea foram descartadas de análise na presente pesquisa.

4.3.2 - Definição das Seções Transversais

Após o cruzamento de todas as variáveis, chegou-se a escolha das seções transversais típicas e representativas das encostas. Foram escolhidas e amostradas para análise laboratorial um total de cinco encostas:

- I) Encosta Mutange
- II) Encosta Bebedouro
- III) Encosta Bolão I
- IV) Reginaldo II
- V) Chã da Jaqueira

As encostas aqui denominadas de Mutange, Bebedouro e Bolão I são as mais representativas das encostas observadas na planície Lagunar. As encostas Reginaldo II e Chã da Jaqueira foram as contempladas para representar a planície fluvial. Todas estas encostas encontram-se localizadas e identificadas na Figura N^o 07, localização e identificação das encostas pesquisadas em parte da cidade de Maceió/AL., suas características mais marcantes são descritas a seguir:

4.3.2.1 - Encosta Mutange

Esta encosta, cuja seção transversal pesquisada situa-se em frente à sede da Associação dos Professores do Estado de Alagoas, é composta por duas camadas distintas de solo. Possui uma altura média de 42,0 (quarenta e dois) m, e uma inclinação de 50°. A altura foi medida através de altímetro com precisão de dois metros e a inclinação com clinômetro cuja precisão é de 1°. Esta encosta encontra-se representada pela seção transversal da Figura No. 08. As fotos de números de 01 a 04 ilustram as suas principais características.

A primeira camada, que constitui a base da encosta, possui 20 (vinte) m de espessura, e é composto de um solo argilo arenoso vermelho escuro com pedregulho, seixos de quartzo leitoso e, por vezes, concreções ferruginosas em seus horizontes mais inferiores, sugerindo um processo de laterização. Essa camada foi alvo de coleta no intervalo situado entre 19,50m e 20,0m. Coletou-se uma amostra indeformada cúbica com 40cm de aresta e 50 kg de amostras deformadas. Esta camada encontra-se ilustrada na Foto No. 03.

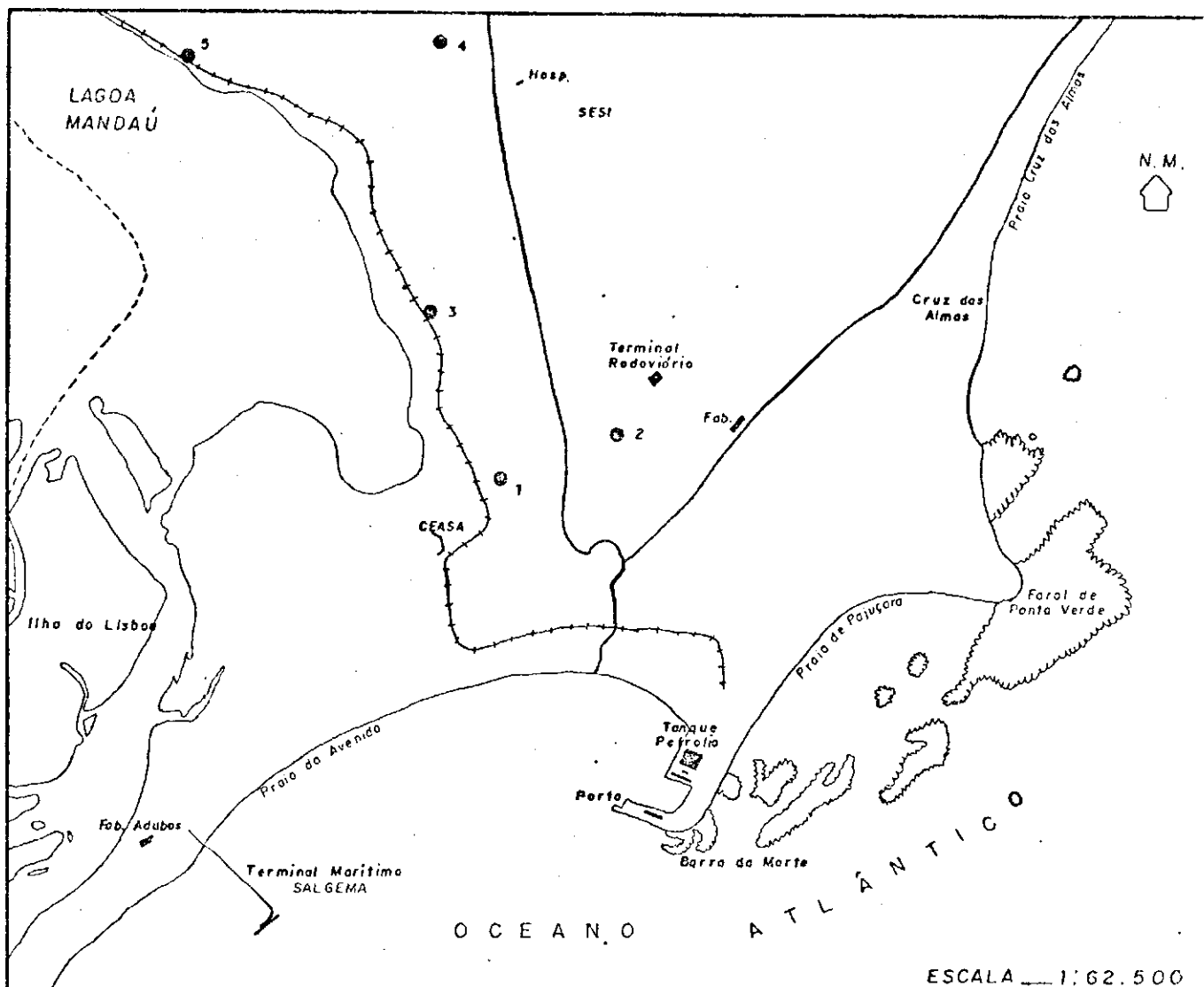
A segunda camada, que constitui a parte superior da encosta, possui 22,0m de espessura e foi alvo de coleta no intervalo situado entre 37,5m e 38,0m. Igualmente à primeiracamada, aqui coletou-se uma amostra indeformada cúbica de 40,0cm de vértice e 50 kg de amostras amolgadas. Trata-se de um solo argilo arenoso vermelho escuro onde não se verificou os

pedregulhos e concreções existentes na camada inferior. A Foto No. 04 ilustra as características citadas.

Em ambas as camadas foi determinada a massa específica aparente do solo "in situ", com emprego do frasco de areia. Também foi determinada, em ambas as camadas, a umidade natural através do aparelho speedy.

Esta encosta é densamente habitada, já tendo sido alvo de uma urbanização localizada em frente ao "Campo do Mutange" (campo de futebol de Centro Sportivo Alagoano - CSA). Nessa urbanização, a encosta foi contemplada com obras de drenagem, escadarias em alvenaria e calçamento. Isto permite a impermeabilização da superfície, protegendo a encosta contra as infiltrações d'água nos períodos chuvosos. No entanto, nesta encosta que possui extensão superior a 1 km, existem vários locais totalmente desprovidos de qualquer obra de contenção ou proteção, como, por exemplo, no local da seção transversal pesquisada.

A encosta é alvo de sobrecargas devidas às edificações, possui em sua base, um aterro ferroviário de 3,50m de altura que funciona perfeitamente como incremento do momento resistente às rupturas de pé de talude. No entanto, não se conhece a magnitude de propagação das ondas sísmicas geradas a partir da vibração promovida pela passagem do comboio ferroviário.



LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS ENCOSTAS PESQUISADAS EM PARTE DA CIDADE DE MACEIÓ - AL

FONTE : IBGE - FOLHAS SC. 25-V-C-IV-1 (PILAR) E SC. 25-V-C-2 (MACEIÓ)

ESCALA ORIGINAL 1:10.000

- 1 ① ENCOSTA BOLÃO I
- 2 ② ENCOSTA REGINALDO II
- 3 ③ ENCOSTA MUTANGE
- 4 ④ ENCOSTA CHÃ DE JAQUEIRA
- 5 ⑤ ENCOSTA BEBEDOURO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

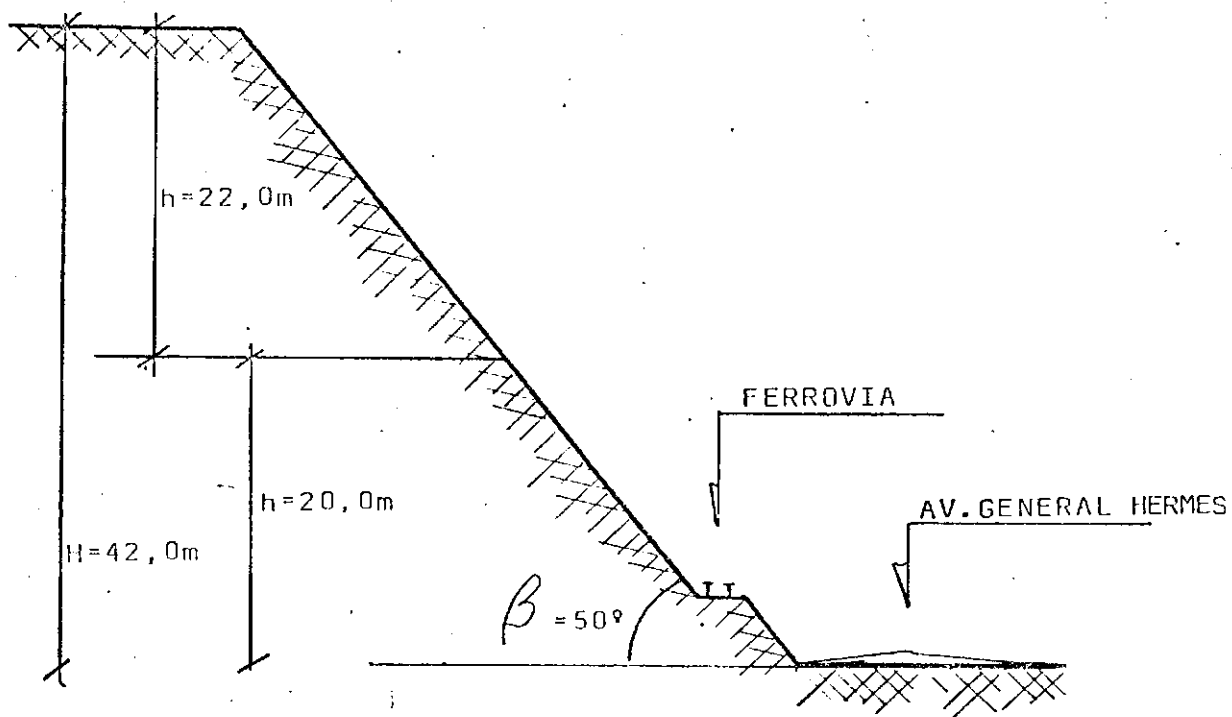
CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 07

SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DA ENCOSTA
MUTANGE



DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

FIGURA Nº 08



Foto Nº 01 - Visão geral do assentamento indiscriminado na encosta Mutange



Foto N^o 02 - Detalhe do acesso à encosta Mutange
que também funciona como sistema
de drenagem superficial

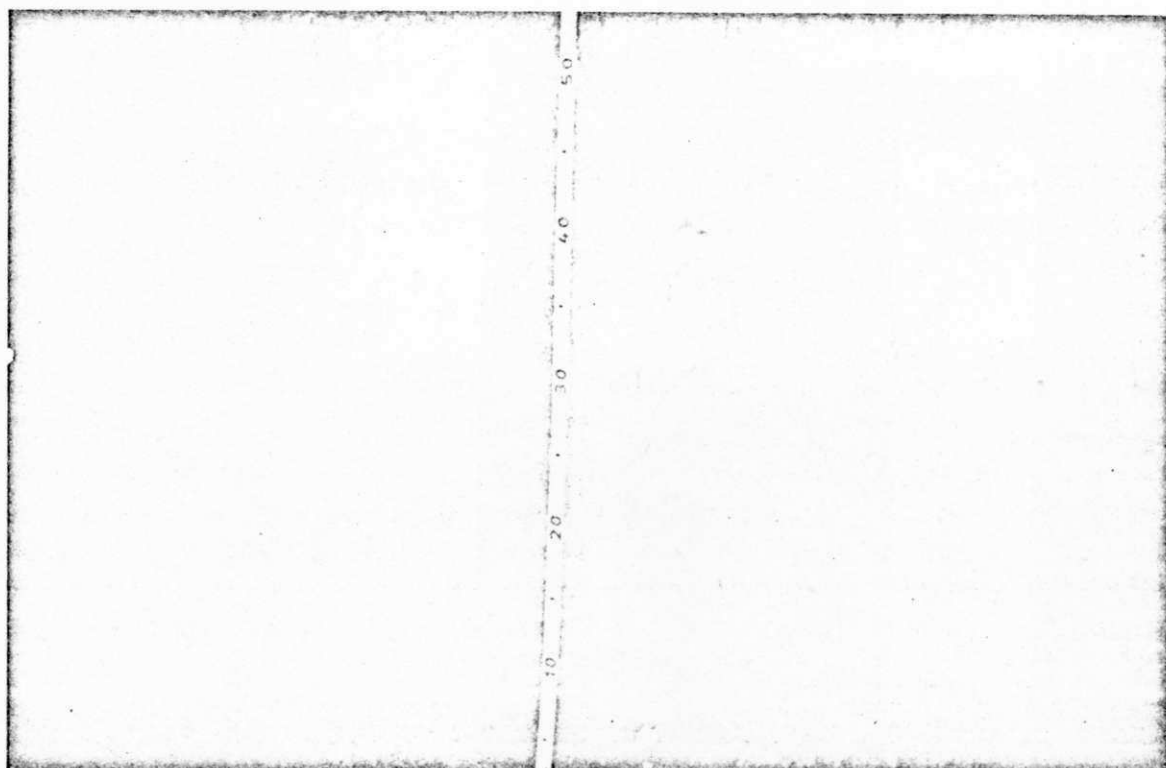


Foto N^o 03 - Detalhe da camada inferior na encosta Mutange, mostrando concreções de coloração esbranquiçada indicando o local de coleta da amostra

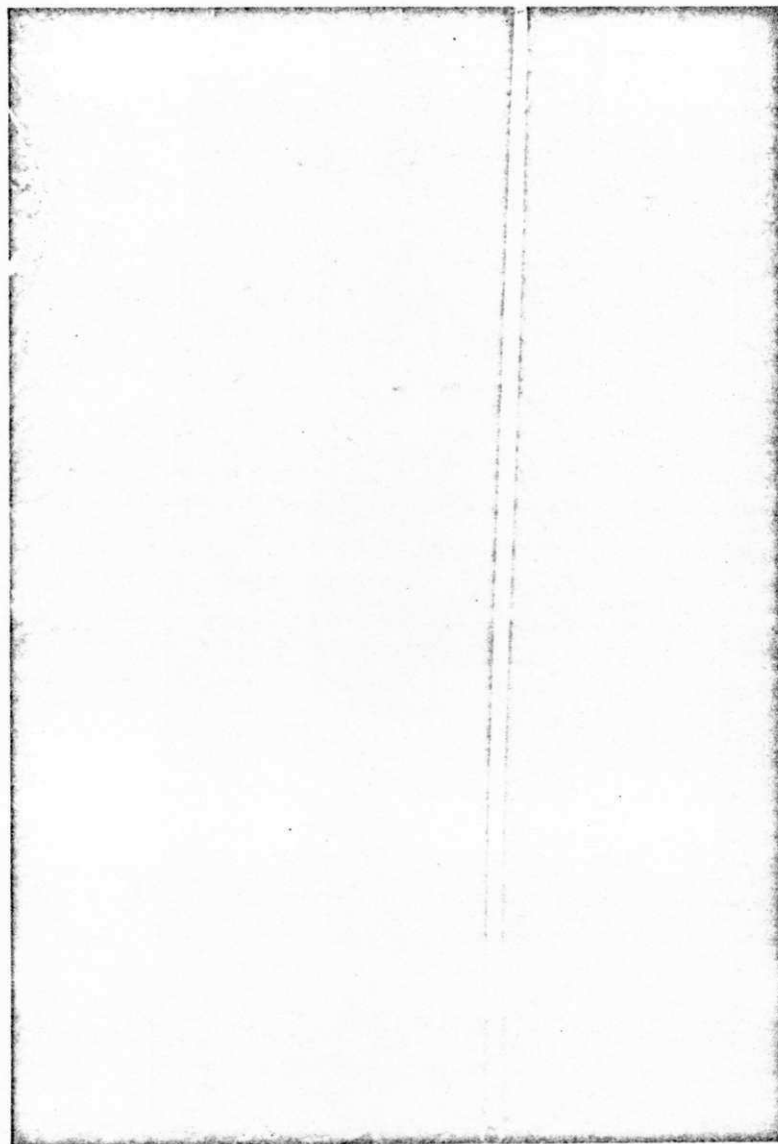


Foto Nº 04 - Detalhe da regularidade granulométrica da camada superior na encosta Mutange, mostrando cavidades que conferem ao solo microdescontinuidades

Finalmente, na seção transversal pesquisada, observou-se o plantio de frutíferas e leguminosas, onde identificou-se uma tendência crescente do plantio de bananeiras que, geotecnicamente, possui a característica negativa de transferir umidade em excesso para o solo. A seção transversal da Figura No. 08 ilustra perfeitamente o descrito.

4.3.2.2 - Encosta Bolão I

Esta encosta cuja seção transversal pesquisada é apresentada na Figura No. 09, é totalmente desprovida de vegetação e já foi alvo de vários escorregamentos. Possui uma inclinação mínima de 60° , onde mostra-se aparentemente estável. À medida que aumenta de altura, aumenta sua inclinação, chegando à verticalidade. As Fotos de 05 a 09 ilustram as principais características desta encosta.

Seu topo é densamente habitado por população de baixa renda e, nas proximidades, também encontram-se assentados o Colégio Estadual Liceu Alagoano, o CESMAC - Centro de Estudos Superior de Maceió, e o FORUM da Comarca de Maceió. Em sua parte mais crítica, situada na confluência da rua General Hermes com a perimetral leste-oeste, a altura da encosta atinge os 40,0m. Este local, alvo de inúmeros escorregamentos, encontra-se ilustrado nas Fotos N^{os} 05 e 06.



Foto Nº 05 - Aspecto de um antigo escorregamento
na encosta Bolão I



Foto Nº 06 - Aspecto de um escorregamento recente na encosta Bolão I



Foto Nº 07 - Vista Geral da encosta Bolão I, indicando o local da coleta de amostra



Foto Nº 08 - Detalhe das duas camadas de solos arenosos na encosta Bolão I



Foto Nº 09 - Detalhe da moldagem dos blocos indeformados na encosta Bolão I

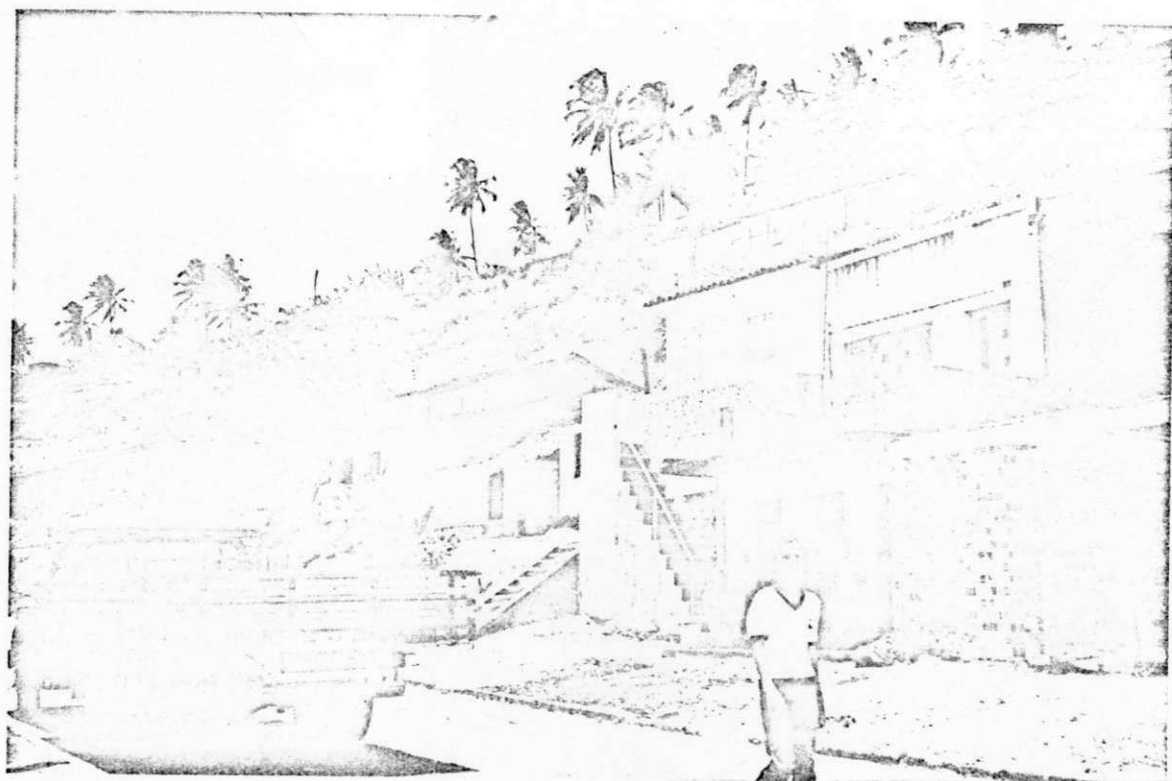


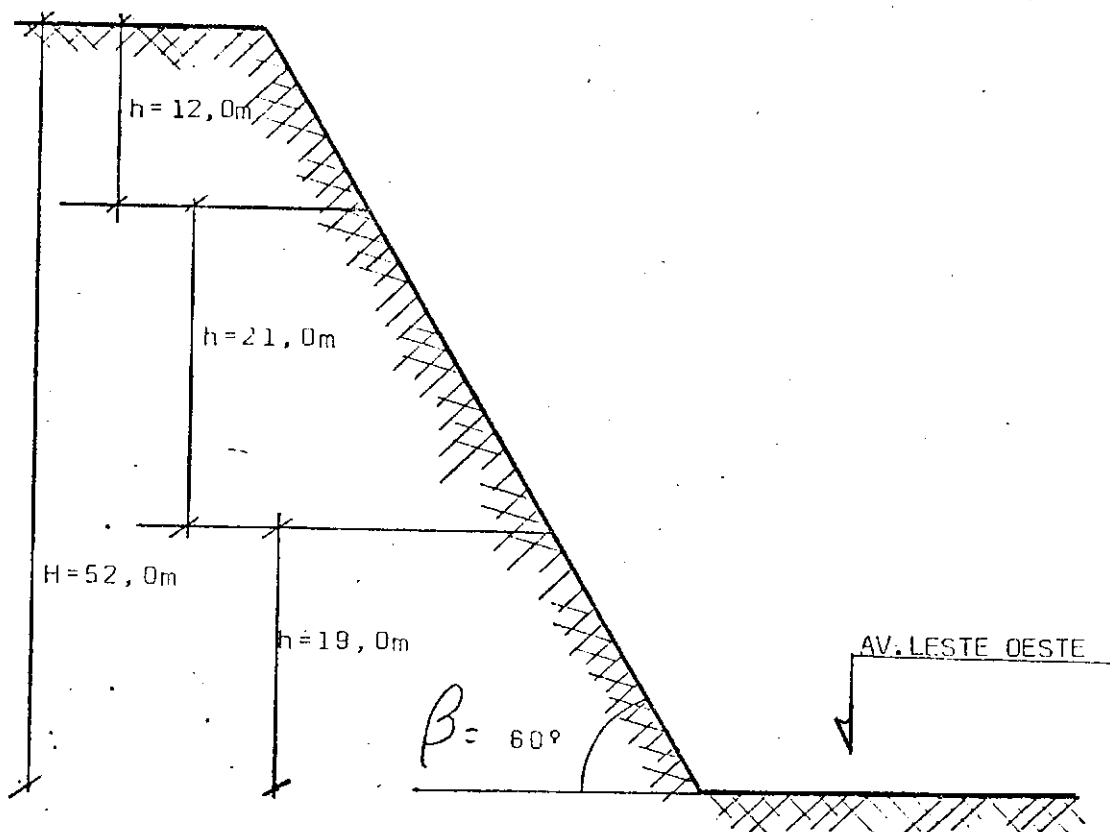
Foto Ng 10 - Vista Geral da encosta Bebedouro, situada à margem da rua Antonio Faustino. Observa-se ao fundo, casas já condenadas pela Defesa Civil do Estado de Alagoas (marcadas com "x"). Local de constantes escorregamentos

A seção transversal pesquisada apresenta duas camadas distintas de solo, conforme foto No. 08. A primeira camada, situada na parte inferior da encosta, é composta por um solo arenoso amarelo claro e tem uma espessura de 3,0m. A segunda camada, que constitui a parte superior da seção transversal pesquisada, é composta por um solo arenoso esbraquiçado e tem uma espessura de 19,0m, conforme pode-se verificar na seção transversal tipo mostrada na Figura No. 09. São solos bastante compactos e são representativos daquele universo.

A região mais crítica apresentou elevado grau de dificuldade à coleta de amostras devido a:

- elevado acúmulo de material já escorregado, impossibilitando a localização exata das camadas de solo;
- amolgamento do solo superficial;
- impraticabilidade de acesso à coleta nas camadas mais altas, quer pela elevada altura e verticalidade da encosta, quer pelo risco de ruptura eminente nesta seção instável, inclusive por tensões de crack

SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DA ENCOSTA
BOLÃO I



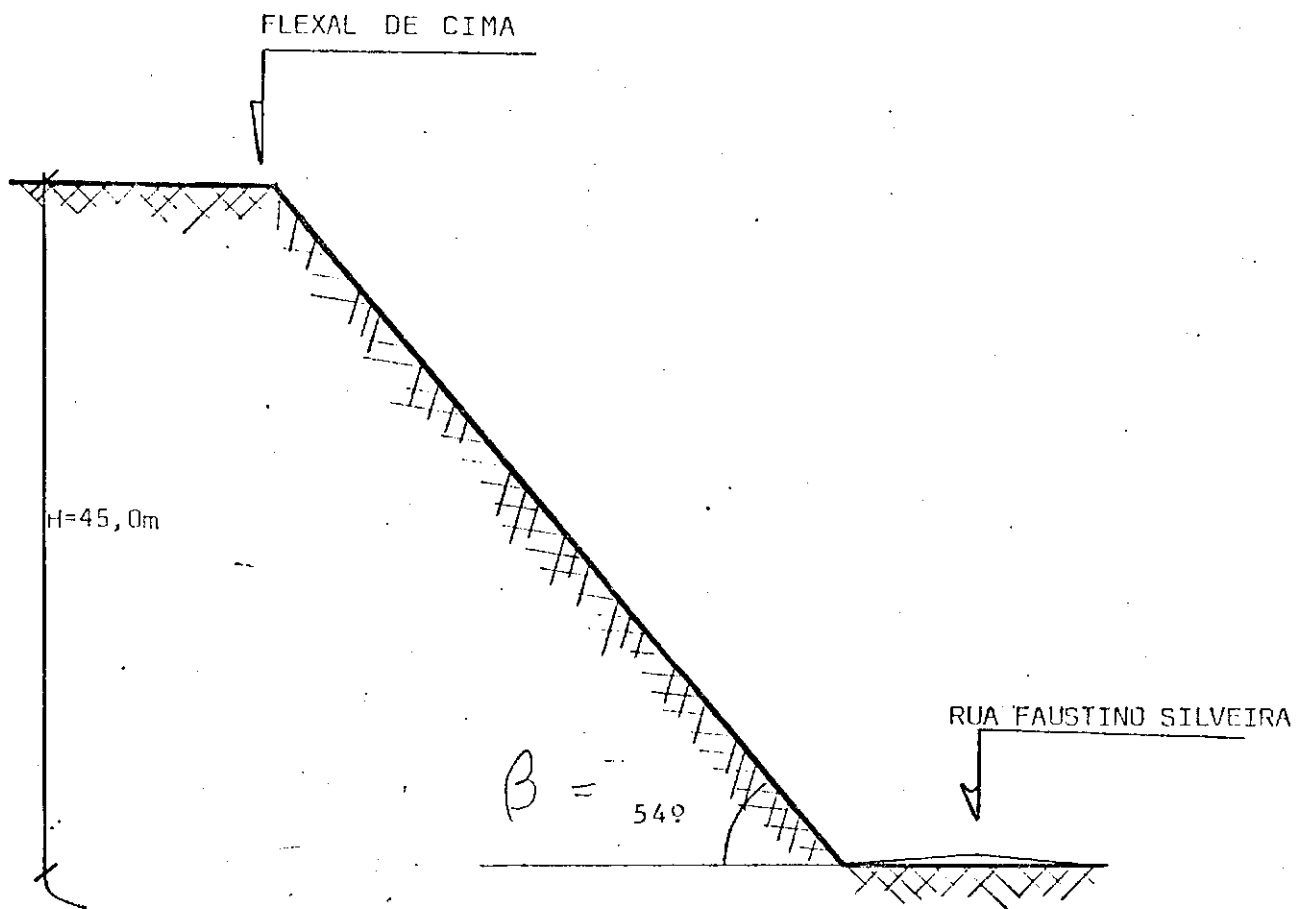
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

FIGURA Nº 09

SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DA ENCOSTA
CHÃ DE BEBEDOURO



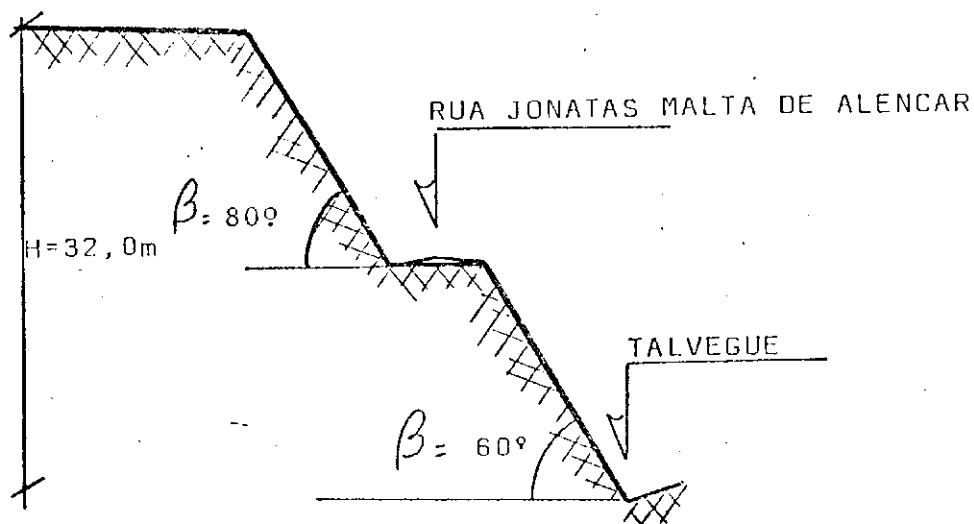
DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

FIGURA Nº 10

SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DA ENCOSTA
CHÃ DA JAQUEIRA



DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

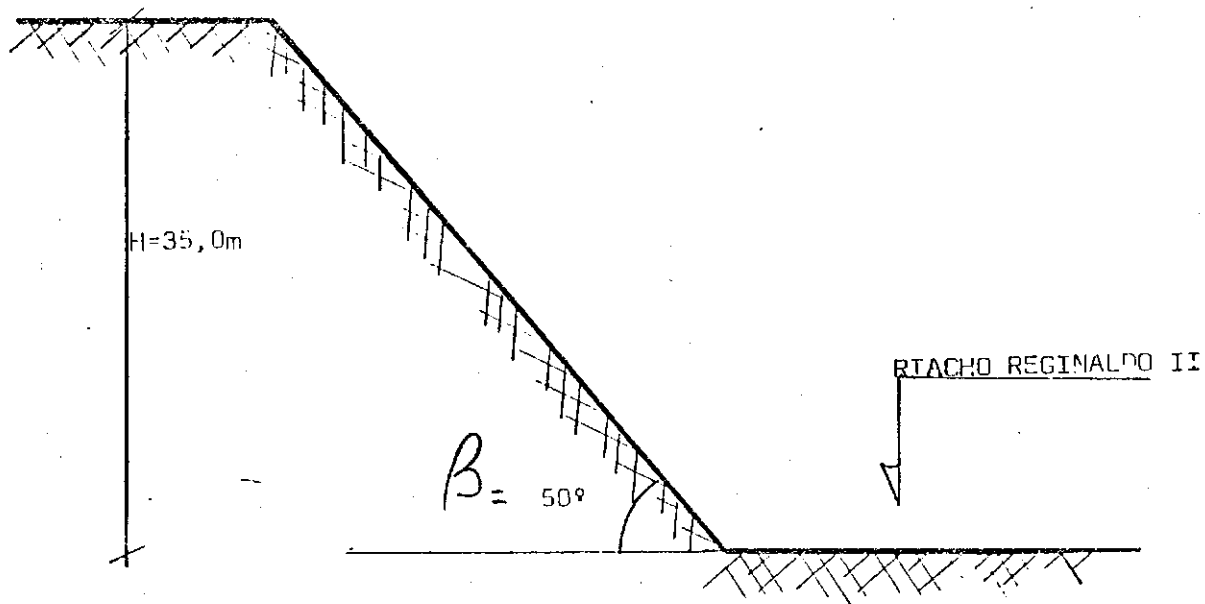
CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 11

SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DA ENCOSTA
REGINALDO II



DIPLOMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

FIGURA Nº 12



Foto. Ng 11 - Aspecto Geral da encosta Chã da Jaqueira
mostrando seu aspecto vertical e local
da coleta



Foto Nº 12 - Visão geral do assentamento indiscriminado na encosta à margem direita do riacho Reginaldo II, mostrando ao fundo, a ponte de acesso à rodoviária

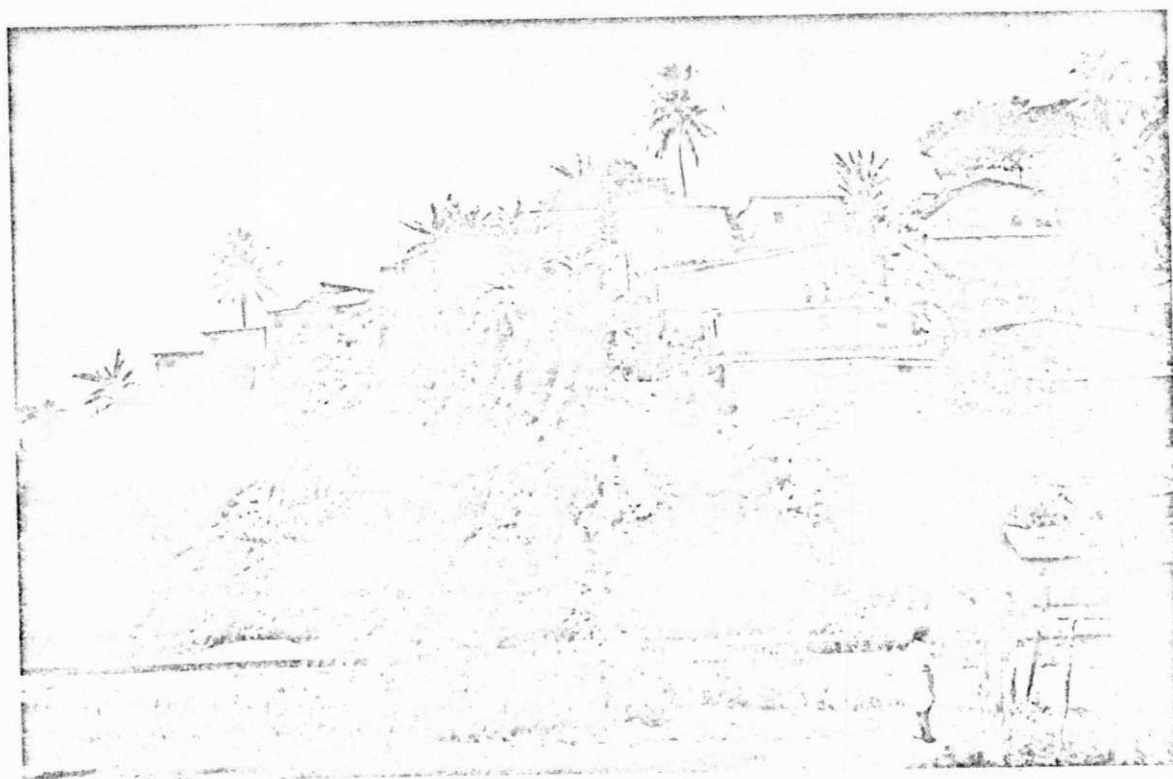


Foto Nº 13 - Visão Geral do assentamento indiscriminado na encosta à margem esquerda do riacho Reginaldo II



Foto N° 14 - Localização da coleta de amostras na encosta Reginaldo II. Mostra o plantio de bananeiras (fator geotecnicaamente negativo)



Foto Nº 15 - Detalhe da escavação realizada para a retirada de amostra indeformada cúbica de 40 cm de aresta

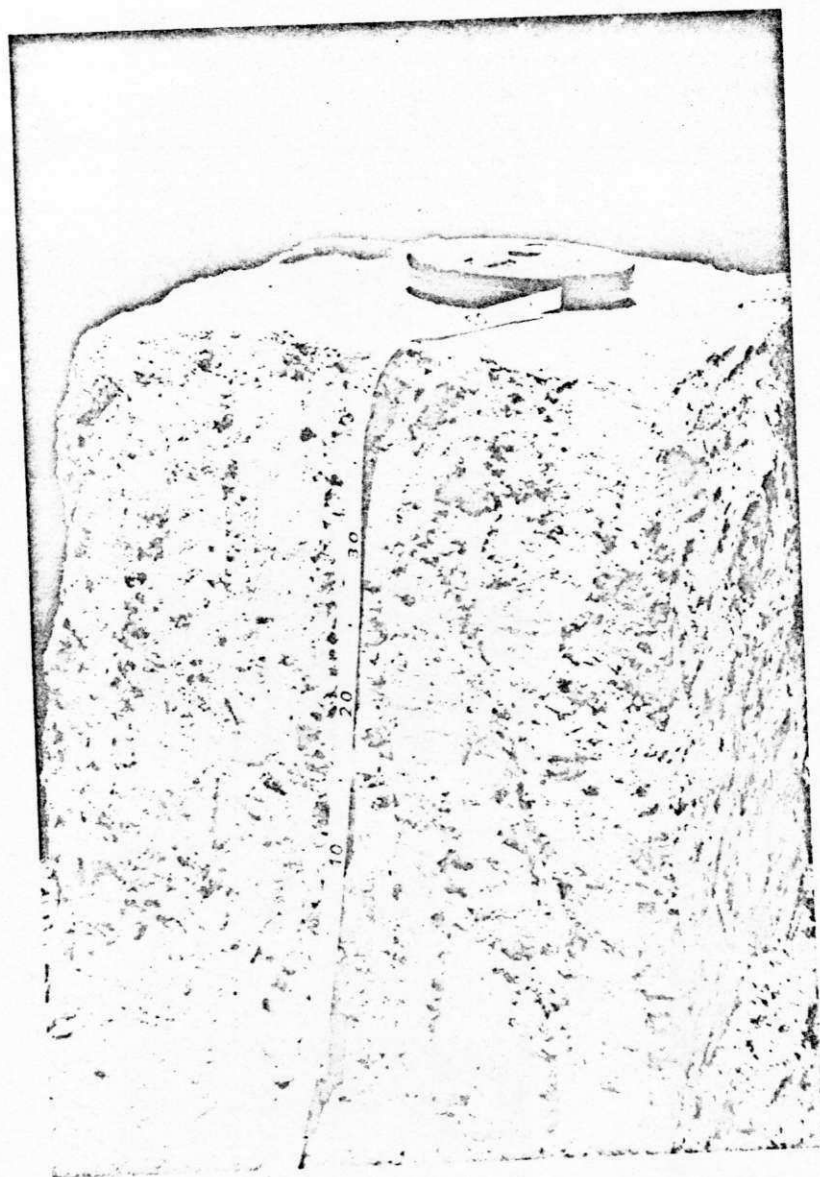


Foto Nº 16 - Detalhe da encosta Reginaldo II, mostrando concreções cauliniticas com cerca de 2 cm de diâmetro médio

4.3.2.3 - Encosta Bebedouro

No Bairro de Bebedouro, a encosta escolhida situa-se à rua Faustino Silveira, em frente à casa de Nº 455, visto tratar-se de uma área alvo de sucessivos escorregamentos, inclusive com vítimas fatais. Esta encosta encontra-se ilustrada na foto No.10.

Trata-se de um material argiloso, de coloração amarela escuro a avermelhado com concreções ferruginosas friáveis, sugerindo uma laterização incipiente. Ocupa uniformemente toda a espessura da encosta. Na seção transversal pesquisada a encosta atinge uma altura de 45,0m e inclinação de 54º.

A encosta é habitada em seu topo, em sua base e, por vezes, em patamares abertos na própria encosta que, por sua vez, é margeada pela rua Faustino Silveira. É totalmente desprovida de drenagem superficial. A proteção vegetal, quando existe, é constituída de gramíneas e capim para ração animal.

A maioria das casas assentadas nesta encosta encontram-se condenadas pela Defesa Civil do Estado de Alagoas. No entanto, essas casas continuam habitadas e oferecendo continuamente risco de vida aos seus ocupantes. Não obstante, não houve outra ação governamental que condenar as casas existentes. A foto N.º 10 mostra, ao fundo, as casas condenadas pela defesa civil.

Devido a densidade habitacional ao longo dos patamares abertos na encosta e do incremento da instabilidade promovido por um desmonte superficial da encosta, deixou-se de coletar amostra

indeformada. No entanto realizou-se o ensaio de determinação de massa específica aparente do solo "in situ", com o emprego do frasco de areia, além da verificação da umidade natural com o aparelho speedy e coleta de 100 Kg de amostras amolgadas para moldagem em laboratório segundo as condições de campo. A Figura No. 10 ilustra a seção transversal tipo desta encosta.

4.3.2.4 - Encosta Chã da Jaqueira

Na Chã da Jaqueira, bairro densamente povoado por população de baixa renda, as casas encontram-se normalmente em encostas ou próximas delas. Esse adensamento habitacional associado ao elevado ângulo de inclinação das encostas potencialmente instáveis constituíram-se no maior fator impeditivo à coleta de amostras indeformadas, principalmente pelo risco das escavações incrementar a instabilidade. A Foto No 11 ilustra a situação.

Diante desses fatos, optou-se por um tratamento idêntico ao dado na encosta Bebedouro, com coleta de 100 Kg de amostras amolgadas e determinação da massa específica aparente do solo "in situ", com emprego do frasco de areia, bem como determinação da umidade natural com o aparelho speedy para, em laboratório, moldagem das amostras segundo as condições de campo. A coleta e os ensaios foram realizados no intervalo entre 19,0m e 19,50m.

Trata-se de um solo argiloso vermelho escuro, com pequenas concreções de caulim. É representativo da maioria das encostas observadas no local. A seção transversal pesquisada situa-se à rua Jonas Malta de Alencar em frente à casa de No. 720, ilustrada conforme a Figura N^o 11.

A encosta possui ainda uma geometria de superfície concava, onde a parte superior ao patamar possui uma inclinação de 80°. e a parte inferior, inclinação de 60°. Sua altura média é de 32,0m. A encosta é, por fim, totalmente desprovida de vegetação protetora, sendo alvo de constantes escorregamentos por ocasião de chuvas intensas.

4.3.2.5 - Encosta Reginaldo II

Esta encosta possui uma altura de 32,0m e uma inclinação de 50°. Seu solo é argiloso de coloração amarela escuro, com concreções cauliniticas de cor cinza e diâmetro de aproximadamente 30 mm como mostram as fotos Nos. 12 a 16. Trata-se do talvegue que constitui o flanco direito do riacho Reginaldo.

A amostragem foi realizada no intervalo situado entre 3,5m e 4,0m a partir da base. Seu local exato dista cerca de 150,0m a jusante da ponte da rodoviária nova, no terraço fluvial onde situa-se a rua Diegues Júnior.

Existem várias residências no topo e base da encosta. A montante da seção escolhida (cerca de 50,0m) a mesma encosta é

habitada em toda a sua plenitude. É desprovida de vegetação, drenagem e contenção.

As fotos Nos. 12 e 13 refletem com exatidão a ocupação desta encosta. Já as fotos Nos. 14 a 16 mostram o movimento de terra necessário para retirada de uma amostra indeformada cúbica com 40,0cm de aresta, bem como as feições das concreções cauliniticas na massa de solo argiloso. A Figura No. 12 ilustra a configuração geométrica da seção transversal pesquisada.

4.3.3 - A Abordagem Multidisciplinar

Dado a complexidade dos fenômenos que interagem por ocasião da ruptura de um talude, torna-se necessário o estudo multidisciplinar exigido por cada caso específico da análise da estabilidade. Esta abordagem propicia um tratamento mais amplo no estudo do meio físico. No entanto, as soluções advindas das grandezas qualificadas pela geologia e quantificadas pela engenharia civil, não se tornam, por si só, suficientes. É imprescindível além de executa-las, observar os resultados, tornando-se o método observacional, o caminho mais acertado para a identificação e correlação dos casos de instabilidades eminentes ou potenciais.

Somente a atuação coordenada das áreas técnicas envolvidas (geotecnia, geologia, engenharia, hidrogeologia, hidrologia, meteorologia, geomorfologia e pedologia) podem promover o conhe-

cimento satisfatório desta complexa problemática. Enquanto alguns qualificam os fatores possibilitando a compreensão das causas, outros quantificam os parâmetros físicos definindo soluções.

Assim, Cotecchia (1974) destacou a importância desta abordagem multidisciplinar, ressaltando que a importância básica da cooperação entre o engenheiro e o geólogo, reside na necessidade da interpretação dos fenômenos geológicos sob o ponto de vista da engenharia, destacando ser de importância vital que os estudos tenham uma natureza interdisciplinar.

Hunt (1976), chamou a atenção para essa interação, destacando a necessidade imperiosa do conhecimento das Formações Geológicas, bem como dos Grupos e Sub-grupos de solos gerados a partir do bed-rock, além do conhecimento detalhado dos aquíferos subterrâneos, as ressurgências em taludes e encostas, além da drenagem de águas superficiais. Em fim, o conhecimento das condições geológicas regionais.

Lopes (1976), discutiu a abordagem multidisciplinar em Projetos Finais de Engenharia, destacando que nas encostas instáveis a heterogeneidade é a lei, e ressaltava a importância da associação do raciocínio indutivo e naturalista do geólogo com o raciocínio exato e matemático do engenheiro.

Santos (1976), reforçou a tendência crescente da abordagem multidisciplinar, quando à época já criticava o uso despropositado de instrumentações tecnológicas sofisticadas e caras, defendendo a idéia de uma observação "intensiva da

natureza, com suas respostas às solicitações de obras já instaladas, como a fonte principal e mais segura de dados para projeto."

Mais uma vez, Lopes (1976), externou sua preocupação com o fato, afirmando que "A adoção pura e simples de valores de parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito interno, bem como a utilização das clássicas superfícies de ruptura em taludes de cortes pode, muitas vezes, levar a resultados enganosos."

Por todo o exposto, neste trabalho de análise de estabilidade de encostas, levar-se-á em consideração a interação dos fenômenos climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, geológicos, pedológicos, entre tantos outros. Procurar-se-á, com isso, refletir as reais condições de solicitações a que estão submetidas as encostas objeto da presente pesquisa.

4.4 - Conclusões

As encostas objeto da presente pesquisa têm em comum as formas geomorfológicas de tabuleiros em suas partes superiores eplanícies em suas bases, cuja diferença de nível atinge a magnitude dos sessenta metros. São geologicamente constituídas do mesmo material e, no aspecto sócio-econômico, ocupadas por bolsões de extrema pobreza. Apenas a análise integrada dos vários segmentos técnicos que envolvem a questão capacita a pesquisa à conclusões racionais.

CAPÍTULO V

5.0 - A ESTABILIDADE DE TALUDES

5.1 - Apresentação

A presente dissertação de mestrado não pretende discutir sobre as várias correntes filosóficas de métodos de estabilidade e das diversas formas de contenção de encostas. No entanto, sumariamente e de forma introdutória, analisará os principais elementos do estudo de estabilidade que, pela sua importância, assumem caráter decisório nas conclusões finais.

Fazer a análise da estabilidade de uma encosta é verificar se ela é estável, através da determinação do coeficiente de segurança que indica a maior ou menor probabilidade de uma estabilidade estimada.

No estudo da estabilidade de taludes muitas são as informações que devem ser processadas para obter-se, apenas, uma estimativa dessa estabilidade. O número dos parâmetros envolvidos, sua definição em termos absolutos e a interação entre os

mesmos, evidenciam a impossibilidade de uma avaliação precisa. Por conseguinte, a avaliação quantitativa será o recurso utilizado, que propiciará ao menos, um número relativo que sirva de termômetro indicador da sensibilidade das encostas às mudanças de parâmetros críticos.

São muitos os métodos de análises de estabilidade. São mais numerosos ainda os métodos que utilizam o equilíbrio limite como base de suas acertivas. E, por serem mais numerosos são, consequentemente, mais conhecidos, estudados e discutidos. Não sendo o objetivo do presente trabalho, a prática de conferir ou difundir novos métodos de análise da estabilidade, e sim o estudo da estabilidade, propriamente dita, adotaremos o critério de análise através do equilíbrio limite.

Assim, enfocaremos os métodos mais conhecidos como critério de escolha daquele que melhor se adeque às encostas naturais dos sedimentos terciários, pouco consolidados constituintes do Grupo Barreiras - formação Guararapes.

Escolhido o método de análise, verificar-se-á as condições de estabilidade e será promovida uma discursão interpretativa dos resultados.

Com isso, procura-se extrapolar o âmbito acadêmico, em busca de soluções para a preocupação maior de reduzir os eventuais riscos de danos às pessoas e às propriedades.

5.2 - Considerações Metodológicas

Atualmente, são conhecidos e universalmente aceitos e mais utilizados, três métodos de análise de estabilidade de taludes. São eles: o método de Estudos em Modelos Físicos, o método de Modelos Matemáticos e o método de Equilíbrio Limite.

O método de estudos em modelos físicos, podem fornecer informações sobre o padrão de comportamento e informações quantitativas quanto a estabilidade de taludes. Não passam, no entanto, de modelos geométricos, onde não são consideradas todas as combinações possíveis.

O método de Modelos Matemáticos são aplicados a problemas de sistemas descontínuos e tridimensionais simples. Apresenta como fator impeditivo a elevada complexidade dos dados de entrada necessários, e a limitação imposta atualmente pela disponibilidade de computadores compatíveis. Esse método deve apresentar, em futuro próximo, um grande desenvolvimento e aceitação.

O método do Equilíbrio Limite é o mais utilizado atualmente, justamente porque a análise não deve ser mais complexa do que o nível de conhecimento do próprio talude. Esse método considera que as forças que tendem a induzir a ruptura são exatamente balanceadas pelos esforços resistentes. Para considerar a estabilidade de taludes em diferentes condições de equilíbrio limite, foi definido o Coeficiente de Segurança (FS),

como a relação entre a resultante das forças solicitantes e resistentes ao escorregamento. A condição de equilíbrio corresponde um Coeficiente de Segurança unitário. Torna-se assim, necessário, ressaltar as limitações do COEFICIENTE DE SEGURANÇA.

5.3 - O Coeficiente de Segurança

O Coeficiente de Segurança sendo uma relação entre grandeza que promovem a ruptura e grandezas que contribuem com o equilíbrio da encosta, torna-se necessário conhecer as limitações da análise da estabilidade com base na adoção, deste critério, principalmente quando já é sabido que o coeficiente de segurança varia com o tempo, vide WU (1963) e BISHOP e BJERRUM (1960) IN SOUZA (1980). Por exemplo, Hoek e Bray in Guidicini e Nieble (1976) desenvolveram o seguinte comentário:

"...muitos especialistas argumentam que, devido a incerteza sobre os dados de entrada nos cálculos, o valor do fator de segurança não é suficientemente digno de confiança para ter importância em projetos de engenharia".

Patton e Hendron Jr. in Guidicini e Nieble (1976) fizeram, sobre o mesmo assunto, as seguintes observações:

"...Na análise da estabilidade de taludes é importante lembrar que o fator de segurança, numa dada equação, não pode ser estabelecido somente por cálculos. ...Geralmente uma análise quantitativa da estabilidade de taludes não deve ser usada para

especular sobre o FS absoluto de um talude natural. ...De preferência as análises são mais bem utilizadas como ferramenta poderosa para estimar as variações na magnitude do fator de segurança, que ocorre devido a mudanças nas forças externas que atuam numa massa em ruptura potencial".

Os especialistas aceitam o Coeficiente de Segurança como um Índice relativo, utilizado para analisar a sensibilidade do projeto a mudanças em parâmetros significativos.

Um outro conceito utiliza a análise probabilística como mais representativa da estimativa de segurança de um talude. Esta análise relaciona de forma interessante o Coeficiente de Segurança com o Risco Calculado, levando em conta diferentes hipóteses de cálculo, em função do tipo de ruptura. O risco calculado analisa as probabilidades de determinar o valor de resistência ao cisalhamento ao longo da superfície potencial de ruptura, sua variação com o tempo, os efeitos da percolação da água e outros fatores eventuais.

5.4 - Os Principais Métodos de Análise da Estabilidade

Os métodos disponíveis para projetos de taludes em solos residuais, segundo Deere e Patton in Guidicini e Nieble (1976) são: por experiências precedentes, por experiências precedentes modificadas e por cálculos de estabilidade.

As experiências precedentes se aplicam onde as condições climáticas e geológicas são similares àquelas onde o projeto foi feito com sucesso. O perigo do método advém da extrapolação a diferentes condições de contorno.

As experiências precedentes modificadas levam em consideração as experiências precedentes acrescidas de ensaios e serviços exploratórios, buscando analisar as influências das reais condições relativas à estrutura do maciço, à água subterrânea e aos dados de resistência mecânica.

Os cálculos de estabilidade envolvem sempre grandes inversões de tempo e dinheiro, requerendo sempre um pleno conhecimento dos detalhes geológicos significativos. Sua aplicação limita-se a situações especiais, onde o dispêndio de tempo e dinheiro podem ser justificados.

Neste trabalho, o estudo da estabilidade será realizado através de cálculos de estabilidade pelo método de Bishop (1955), experiência precedentes modificadas, determinadas pelos acrescidos de informações multidisciplinares.

5.5 - As Superfícies de Rupturas

As principais superfícies de rupturas são as planas e as circulares. As superfícies planas constituem o caso mais simples, embora relativamente raro na prática. Consiste na ruptura de um talude ao longo de uma superfície plana de descontinuidade ou menor resistência ao cisalhamento. Constitui-

se em um problema tipicamente bidimensional, que ignora a terceira dimensão, ou seja, despreza a resistência lateral ao deslizamento, não levando em consideração a real condição de confinamento. O estudo analítico é baseado no equilíbrio estático de um corpo rígido situado sobre um plano de escorregamento.

As superfícies circulares de ruptura, ocorrem em função de mecanismos rotacionais através do cisalhamento ao longo do círculo. Na prática, é o caso mais comum. Embora seu desenvolvimento matemático seja bastante trabalhoso e, por conseguinte, demorado, é bastante difundido e utilizado. Atualmente, com a utilização de computadores, tornou-se mais rápida a análise dessas superfícies circulares e bem mais precisos os resultados finais. A preferência por adotar-se as superfícies circulares como as mais prováveis formas de ruptura dos taludes em solos, é devida principalmente às experiências precedentes.

5.6 - Conclusões

Dado ao exposto, admitir-se-á, neste trabalho de pesquisa, que as superfícies circulares de ruptura são as mais prováveis formas geométricas assumidas por ocasião dos escorregamentos nas encostas naturais dos solos gerados pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras - formação Guararapes, em Maceió. Para tanto, será utilizado o método de Bishop (1955), para a análise da estabilidade das encostas.

CAPÍTULO VI

6.0 - METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa busca a análise da estabilidade das encostas naturais sujeitas à ação de escorregamentos devido às atividades antrópicas que, somadas aos agentes geomecânicos, incrementam a magnitude do momento atuante em detrimento do momento resistente, promovendo a ruptura do solo então em equilíbrio.

6.1 - Materiais

Os materiais que compõem as encostas da cidade de Maceió constituem-se de sedimentos terciários da Formação Guararapes (grupo Barreiras) e solos residuais originados desses sedimentos. As rochas constituídas por esses sedimentos terciários são de baixa diagênese, o que implica em uma cimentação incipiente entre os seus constituintes minerais. Pelas suas características texturais e de resistência mecânica similares à dos solos, esses materiais serão aqui tratados e denominados como tal.

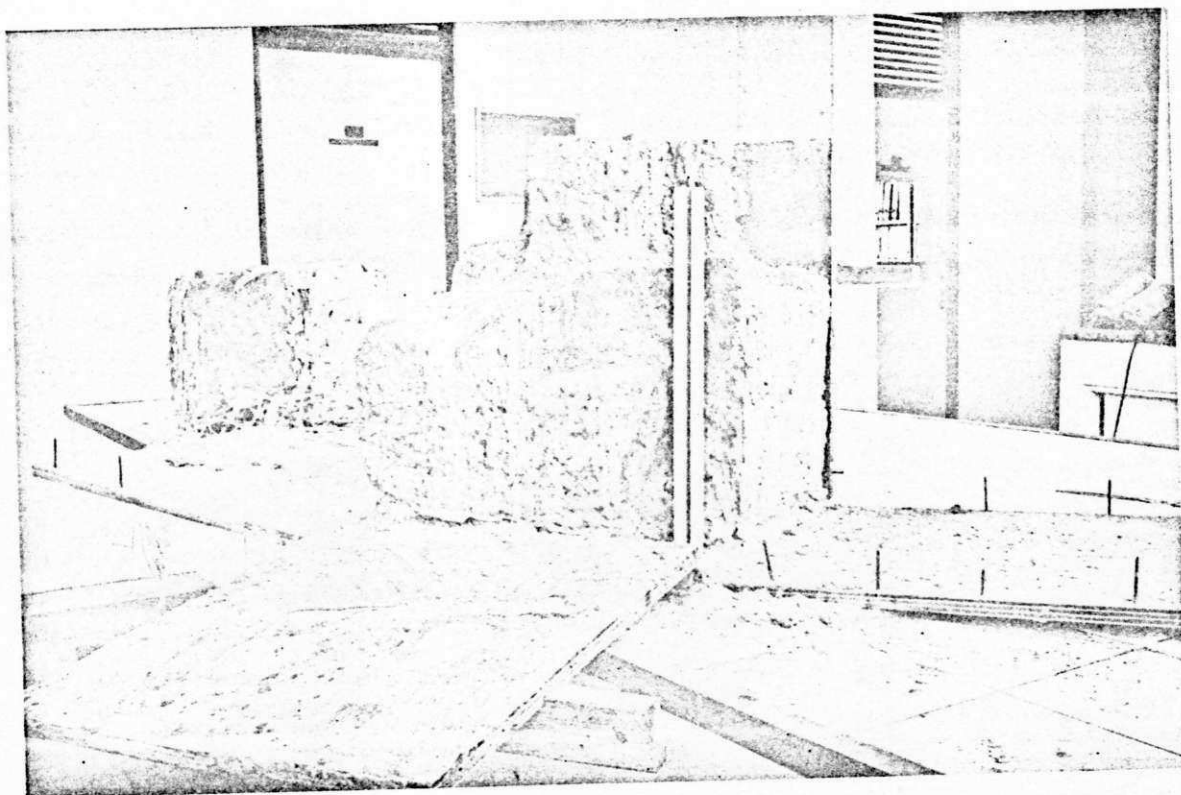


Foto Nº 17 - Detalhe de uma amostra indeformada e seu manuseio em laboratório.

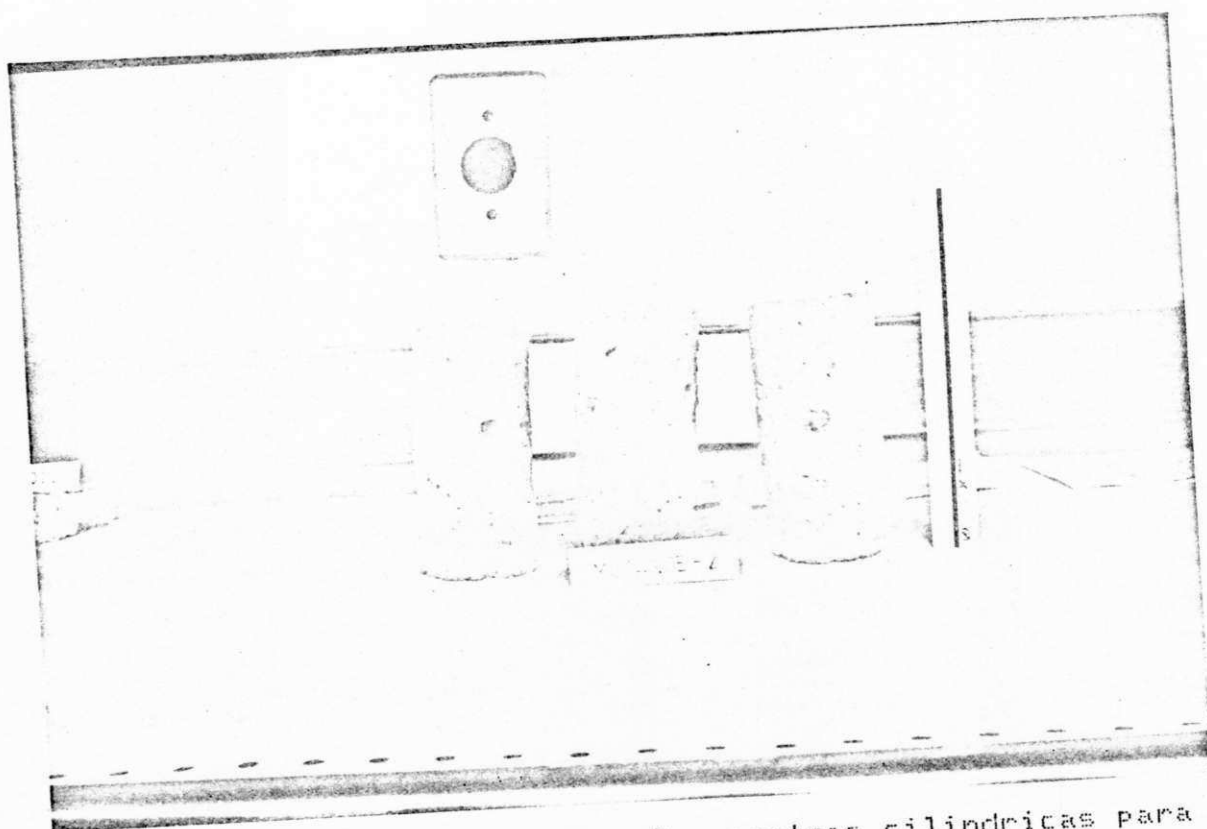
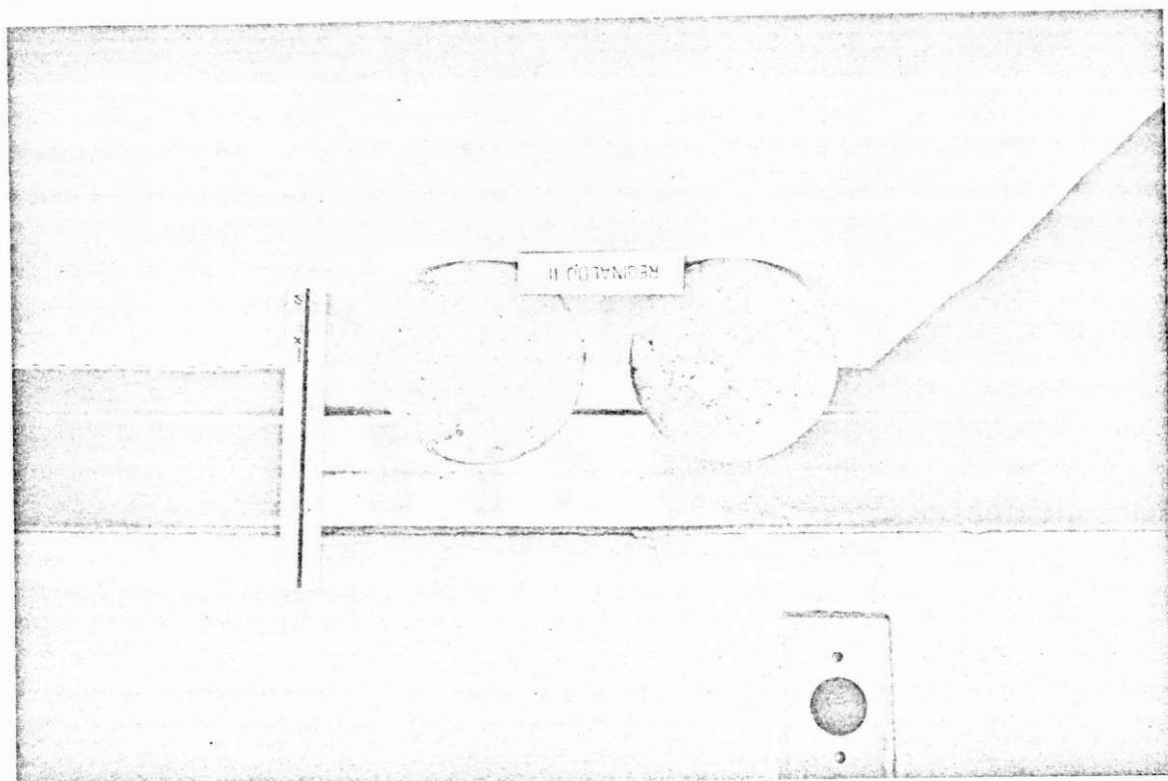


Foto Nº 18 - Detalhe de três amostras cilíndricas para compressão triaxial, mostrando descontinuidades que sugerem elevado índice de vazios

Foto Nº 19 - Detalhe das concreções cauliniticas em
uma amostra da encosta Reginaldo II



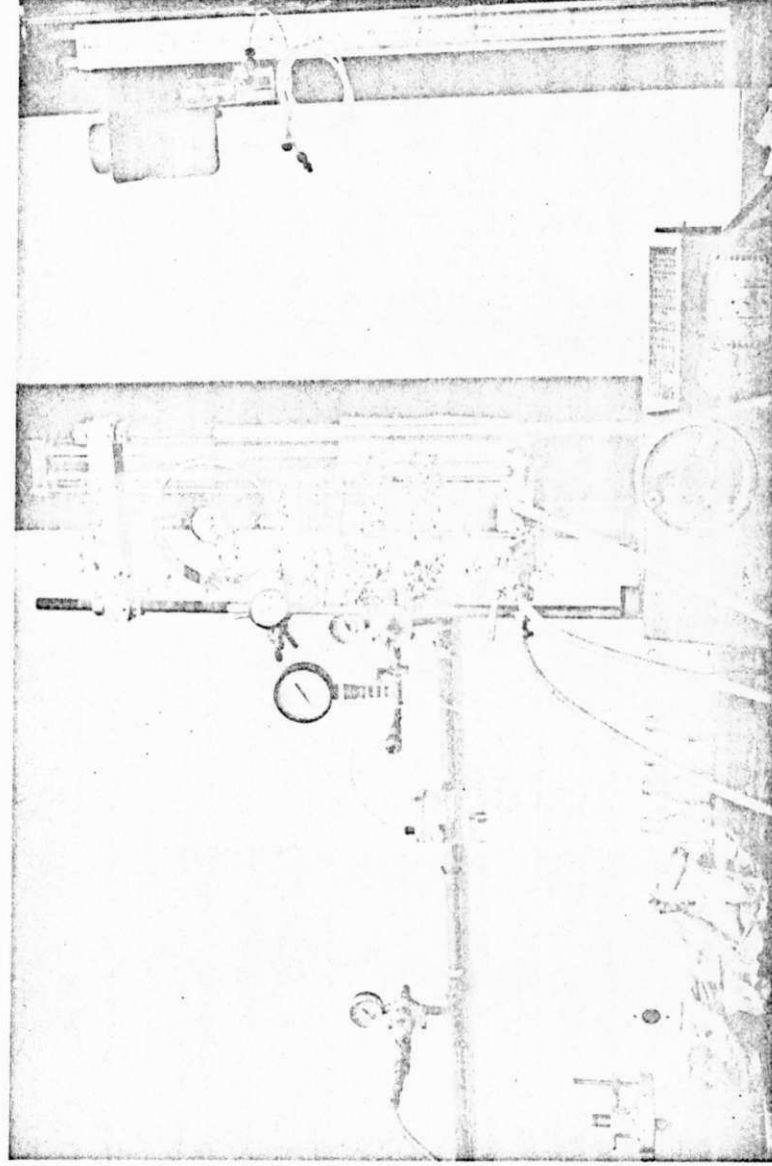


Foto N^o 20 - Visão geral da prensa de compressão triaxial utilizada. Laboratório de solos II - UFPB - Campina Grande/Pb

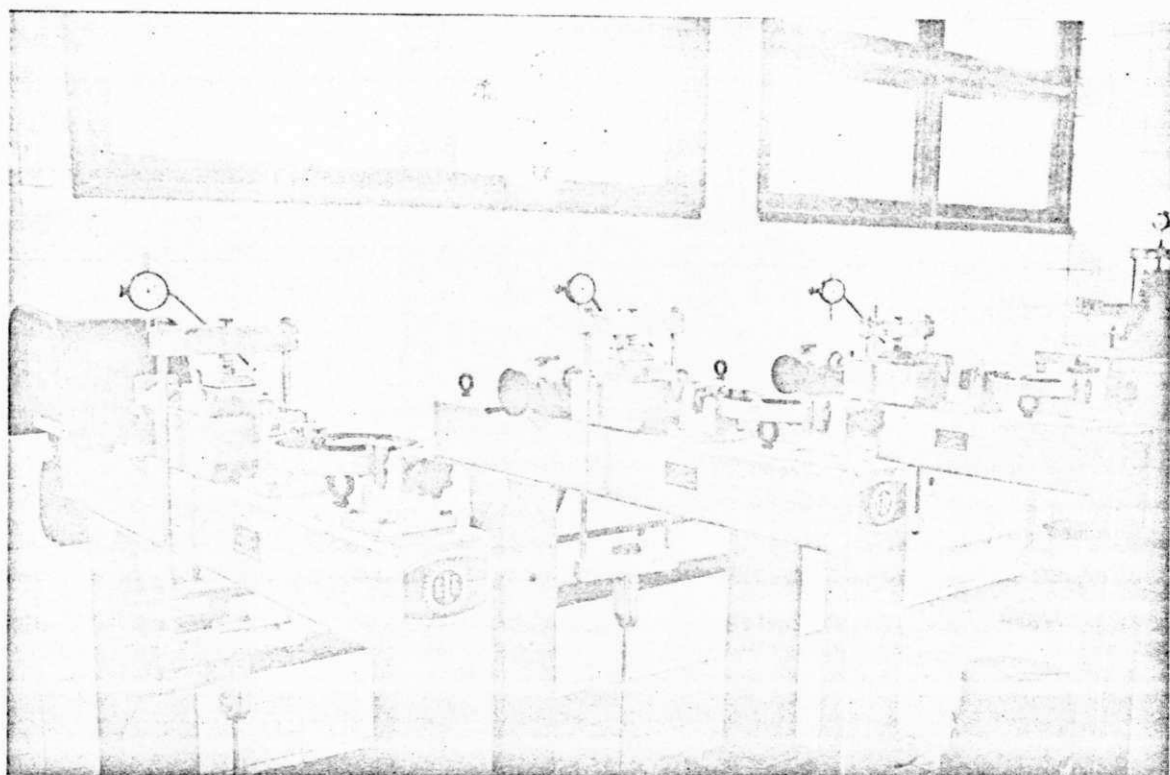


Foto. Nº 21 - Visão geral das três prensas sincronizadas para ensaios de cisalhamento direto, no Laboratório de solos II na UFPB - Campina Grande/Pb

São constituídos mineralogicamente por quartzo, caulim. Possuem um cimento arcoseano de pequena consistência, conferindo ao material elevada friabilidade. Normalmente, o óxido de ferro encontra-se presente em maior ou menor quantidade, conferindo aos solos cores variegadas. As fotos n.º 17 a 19 ilustra a variedade de materiais.

Na análise táctil visual, conferem características de solos cuja granulometria varia do pedregulho a argila, possuindo, por vezes, horizontes de seixos de quartzo rolados, bem como, mais raramente, concreções lateríticas incipientes.

6.2 - Métodos

A metodologia da pesquisa foi aqui subdividida em três etapas distintas, dispostas cronologicamente como:

I) Etapa de Campo;

II) Etapa de Laboratório, e

III) Etapa de compilação, processamento e discussão dos dados e análise da estabilidade das encostas.

6.2.1 - Etapa de Campo

A etapa de Campo constou inicialmente de visitas de inspeções localizadas, em busca do reconhecimento das encostas de Maceió e identificação das "zonas de risco". Para medir a altura das encostas utilizou-se um Altimetro de Nivelamento marca STOCKHOLM, munido do sistema "PAULIN" de funcionamento e com

precisão altimétrica de 02 (dois) metros. As inclinações foram medidas com o inclinômetro da bússola YAMANO, com amplitude de 180 graus e cuja precisão de leitura é de 01 grau.

Reconhecidas as encostas, inclusive quanto às suas condições geológicas e geomorfológicas, identificou-se complementarmente aquelas com declividades superiores a 45% e, destas, selecionou-se as cinco seções transversais mais representativas do universo visitado, para análise da estabilidade conforme mostrado nas Figuras Ng 06 e Ng 07.

A Figura Ng 06, localiza as encostas com declividades superiores a 45%, bem como aquelas selecionadas para a pesquisa. Já a Figura Ng 07, identifica nominalmente cada uma das encostas escolhidas.

Uma vez identificadas as encostas, realizou-se amostragem de 100 Kg de solo amolgado de cada camada nos locais onde não foram possíveis as coletas de amostras indeformadas cúbicas de 40,0 cm de aresta. Evidentemente que deu-se preferência à coleta de amostras indeformadas pois, segundo Hunt (1991), se o problema é um talude natural, as variáveis que afetam a estabilidade incluem além da inclinação e da altura do talude, a resistência e principalmente a estrutura do material. Em todas as camadas amostradas foram realizados ensaios "in situ" de determinação de massa específica aparente do solo e determinação da umidade natural. Tudo de acordo com as normas DNER - ME 92-64 e DNER - 52-64, respectivamente.

Concluídos esses trabalhos, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Solos II, na Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, onde foram desenvolvidas as fases da Etapa de Laboratório.

6.2.2 - Etapas de Laboratório

No laboratório foram desenvolvidos ensaios de caracterização, densidade real, adensamento, permeabilidade, triaxial e cisalhamento direto. Cujos equipamentos para os ensaios especiais estão ilustrados nas Fotografias nº 20, 21 e 22. Os equipamentos foram utilizados para a realização dos ensaios que obedeceram as normas conforme descrito a seguir:

a) Ensaios de Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados pelo método de peneiramento e obedeceu o que determina a Norma Brasileira NBR-7181 - DEZ/84

b) Índices de Consistência

As normas brasileiras determinam a realização desse ensaio através do método de Casagrande. No entanto vários pesquisadores têm feito, de forma sistemática, restrições a esse método.

Dado ao exposto, e objetivando mais uma contribuição ao estudo comparativo entre o método de Casagrande e o método do Cone de Penetração, optou-se pela realização desses ensaios através dos dois aparelhos e, para tanto, obedecendo rotinas normatizadas pela Norma Inglesa BS 1377 - 1975 - TEST 2.A, e pela Norma DNER - ME 44-71. Para efeito de aproximar o ensaio do cone à realidade dos solos tropicais do nordeste do Brasil, adotou-se alterações na Norma Inglesa: as leituras de penetração do cone foram realizadas para 14 mm e não para 20 mm como determina a norma original e, o umedecimento do solo foi realizado no instante do ensaio em contraposição às 24 horas de antecedência previsto na mesma norma.

c) Massa Específica Real dos Grãos

Analisando-se os métodos de ensaios, verificou-se que três importantes normas apresentam conflitos gritantes no que concerne à granulometria do solo a ser ensaiado, conforme discutido a seguir:

I) A norma DNER - ME 84-64 determina que o ensaio seja realizado com o material retido entre as peneiras 2,0mm e 0,075mm.

II) A Norma Brasileira através da norma NBR 6508 determina a realização do ensaio na amostra que passa na peneira de 4,8mm

III) A Norma Inglesa, BS 1377: 1975 - test 12, entende que a realização do ensaio deve se processar no material que passa na peneira de 2,0mm. Ressalta que o material retido na peneira de 37,5mm, desde que superior a 10% em peso, será quebrado e repeneirado. Caso contrário, o ensaio não será representativo.

Após análise racional optou-se pela Norma Inglesa, British Standard 1377:1975 -test 12, pois mostra-se mais coerente. Enquanto compatibiliza-se com a norma do DNER no tocante ao maior diâmetro dos grãos (material passando na peneira 2,0mm) aceita, em compatibilidade com a NBR, que o material fino (diâmetro inferior a 0,075mm) seja considerado no contexto do ensaio. Complementarmente a BS preocupa-se com a representabilidade e aceitabilidade do agregado retido na peneira de 37,5mm, fato sobre o qual as demais normas são omissas.

d) Ensaio de Compactação

As amostras deformadas foram objeto de ensaios de compactação para, segundo a curva obtida de densidade versus umidade, definir o valor da umidade referente à massa específica aparente in situ e, daí, simular a reconstituição do solo segundo suas condições de campo. Para tanto utilizou-se o método DNER - 47-64.

Desta forma, conhecida a umidade de laboratório, segundo a qual o solo quando compactado na energia do Proctor Normal,

fornece a mesma massa específica aparente de campo, simulou-se a indeformabilidade dos materiais amolgados e, assim desenvolver os ensaios correntes.

e) Ensaio de Permeabilidade

Os ensaios de permeabilidade foram desenvolvidos com permeâmetro de carga variada e objetivaram determinar as características de drenagem interna de cada encosta e, a partir daí, definir a forma de drenagem nos ensaios triaxiais. Estes ensaios obedeceram a rotina adotada no Laboratório de Solos II da UFPB, em Campina Grande, que também é preconizada na proposta de Pinto (1972), uma vez que Bowles (1986) publicou que a ASTM ainda não normatizou o ensaio de permeabilidade de carga variada.

f) Análise Mineralógica

A análise mineralógica foi realizada, em uma primeira etapa, macroscopicamente à vista desarmada e, em uma segunda etapa, por Difração de Raios-X, conforme metodologia descrita em Souza Santos (1975).

O método consiste em medir as distâncias interplanares basais entre os diversos tipos de argilominerais, cuja resposta é fornecida através da difração de Raios-X registrada em um difratograma ou registro gráfico, onde a posição de pico de

fluorescência determina o ângulo característico de cada argilomineral.

g) Ensaios Triaxiais

Considerando-se que a instabilidade das encostas ocorre por ocasião das chuvas duradouras, e que durante os escorregamentos o tempo decorrido após o início das chuvas não é suficiente para a drenagem das águas infiltradas, adotou-se o ensaio não adensado e não drenado (UU). Procurando-se adotar, ainda, a situação mais pessimista, utilizou-se a saturação dos corpos de prova e, durante os ensaios, mediu-se as tensões neutras existentes. Os ensaios triaxiais obedeceram a metodologia de Bishop (1972) e atentou para as observações de Jardine et alii (1985) e Duncan (1977).

Complementarmente, para a fase de saturação, adotou-se o procedimento descrito a seguir: Os corpos de provas medindo 40,0mm de diâmetro e 90,0mm de altura foram saturados com iguais pressões e contra-pressões, cujas magnitudes foram acrescidas lentamente à razão de 50 KPa a cada 30 minutos até atingir o valor de 400 kPa por mais 30 minutos. A partir daí a câmara triaxial foi descarregada à razão inversa ao seu carregamento. Após o descarregamento total, verificou-se o grau de saturação e, após considerar-se o corpo de prova saturado, aplicou-se apenas a tensão confinante pré-estabelecida e, aí, iniciado o rompimento do corpo de prova.

Para verificação do decréscimo de resistência do solo com o incremento da umidade, realizou-se o mesmo ensaio com o solo na umidade natural. Entendendo-se, para efeito desses ensaios, como umidade natural, aquela apresentada pela amostra indeformada quando de sua retirada, in situ.

As tensões confinantes adotadas foram de 50KPa, 100KPa, 200KPa e 400KPa, e a velocidade de deformação imposta foi de 0,1524 cm/min, permitindo-se uma deformação máxima de 10% para a finalização do ensaio.

Para a verificação das pressões neutras atuantes, foram acoplados à câmara triaxial, dois transdutores de pressão que, devidamente calibrados, forneceram como resultado as seguintes equações:

$$\text{TRANSDUTOR A: } Y = 0,112 \cdot x - 70,56 \text{ KPa}$$

$$\text{TRANSDUTOR B: } Y = 0,174 \cdot x + 390,38 \text{ KPa}$$

sendo, y = tensão que se deseja conhecer e,

x = leitura do multímetro

Esses transdutores estiveram ligados a uma fonte simétrica de 10(seis) volts e, com sua saída, alimentou um multímetro digital com precisão de quatro casas decimais.

h) Cisalhamento Direto

Obedecendo a norma ASTM - D3080, realizou-se ensaios de cisalhamento direto nas amostras indeformadas. Para tal utilizou-se uma velocidade de deformação de 0,169 cm/min, e carregamentos de 50 KPa, 100 KPa e 200 KPa, tentando-se, com isso, reproduzir as mesmas condições de carregamento e deformação dos ensaios triaxiais. Buscou-se, desta forma, uma maior confiabilidade de resultados através da busca da repetibilidade.

i) Índices Físicos Complementares

Para a consecução dos comentários interpretativos e conclusivos foram utilizadas as fórmulas matemáticas correntes na mecânica dos solos. Assim, buscou-se o conhecimento dos índices físicos complementares.

Desta forma, obteve-se os valores referentes ao índice de vazios de cada amostra ensaiada, sua massa específica aparente seca e seu grau de saturação.

6.2.3 - Análise da Estabilidade

No estudo da estabilidade utilizou-se o método de Bishop simplificado através do programa BISTAT para

microcomputadores. Para efeito de padronização de dados de entrada e consequente análise comparativa dos dados de saída, adotou-se em todas as encostas, a mesma malha de centro de círculos de escorregamentos, os mesmos raios, e um total de 64 círculos analisados para cada situação. Cada encosta foi analisada segundo duas condições distintas. A primeira simulação deu-se com o solo na umidade natural e, a segunda simulação, com o solo saturado. Por exigência do programa, os elementos de geometria da encosta e os elementos caracterizadores dos círculos de escorregamentos são materializados, pelo soft, em função de coordenadas obtidas de um sistema de eixos cartesianos com origem na crista direita da encosta, determinando que o crescimento das abcissas (X) se dá positivamente para a direita e, as ordenadas (Y), crescem positivamente para baixo.

CAPÍTULO VII

7.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são, apresentados sucintamente, os resultados dos ensaios laboratoriais. Paralelamente à apresentação de resultados, são desenvolvidos comentários específicos para cada grupo de ensaios e, ao final, a interpretação geotécnica generalizada dos solos de cada encosta.

7.1) Análise Granulométrica

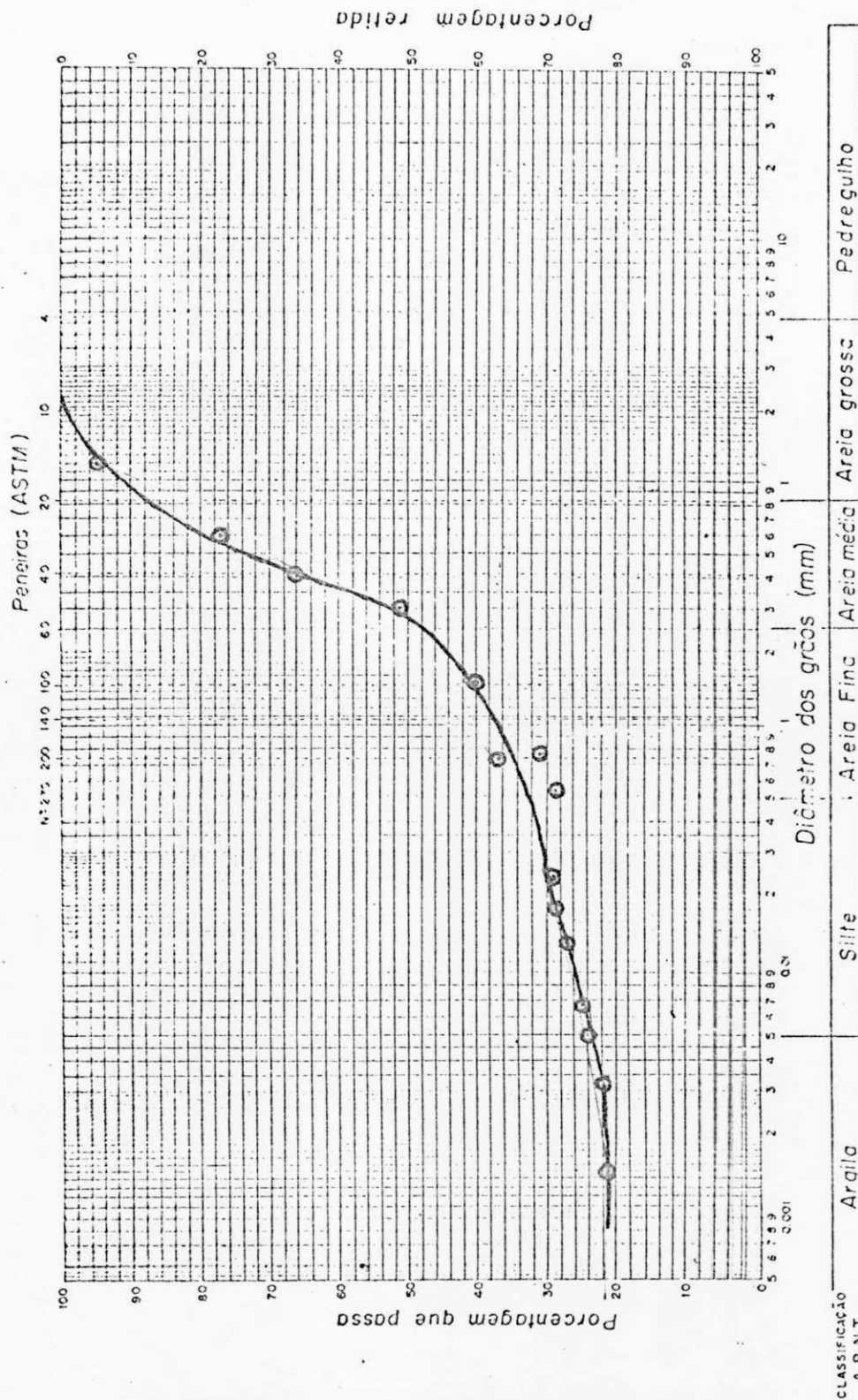
A análise granulométrica por peneiramento, cujos resultados encontram-se listados no Quadro N^o 04 mostra que as encostas contêm solos predominantemente arenosos finos a arenosos grossos com pedregulhos, conforme norma da A.B.N.T..

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO NOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

Peneiras no	Porcentagem				Passando		
	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
3/4"	-	-	97,84	-	-	-	98,95
1/2"	-	-	97,33	99,52	-	-	98,69
3/8"	-	98,88	95,88	99,52	99,28	99,54	98,59
4	99,75	98,70	95,20	99,52	98,81	98,97	97,96
8	98,58	97,65	94,47	99,38	97,79	96,75	97,31
10	97,82	97,04	94,05	99,32	97,25	94,62	96,77
40	65,91	63,14	75,55	69,42	75,45	48,42	75,87
100	40,15	34,20	60,25	40,62	46,65	26,72	48,57
200	36,88	29,36	56,14	32,73	40,68	21,84	41,55

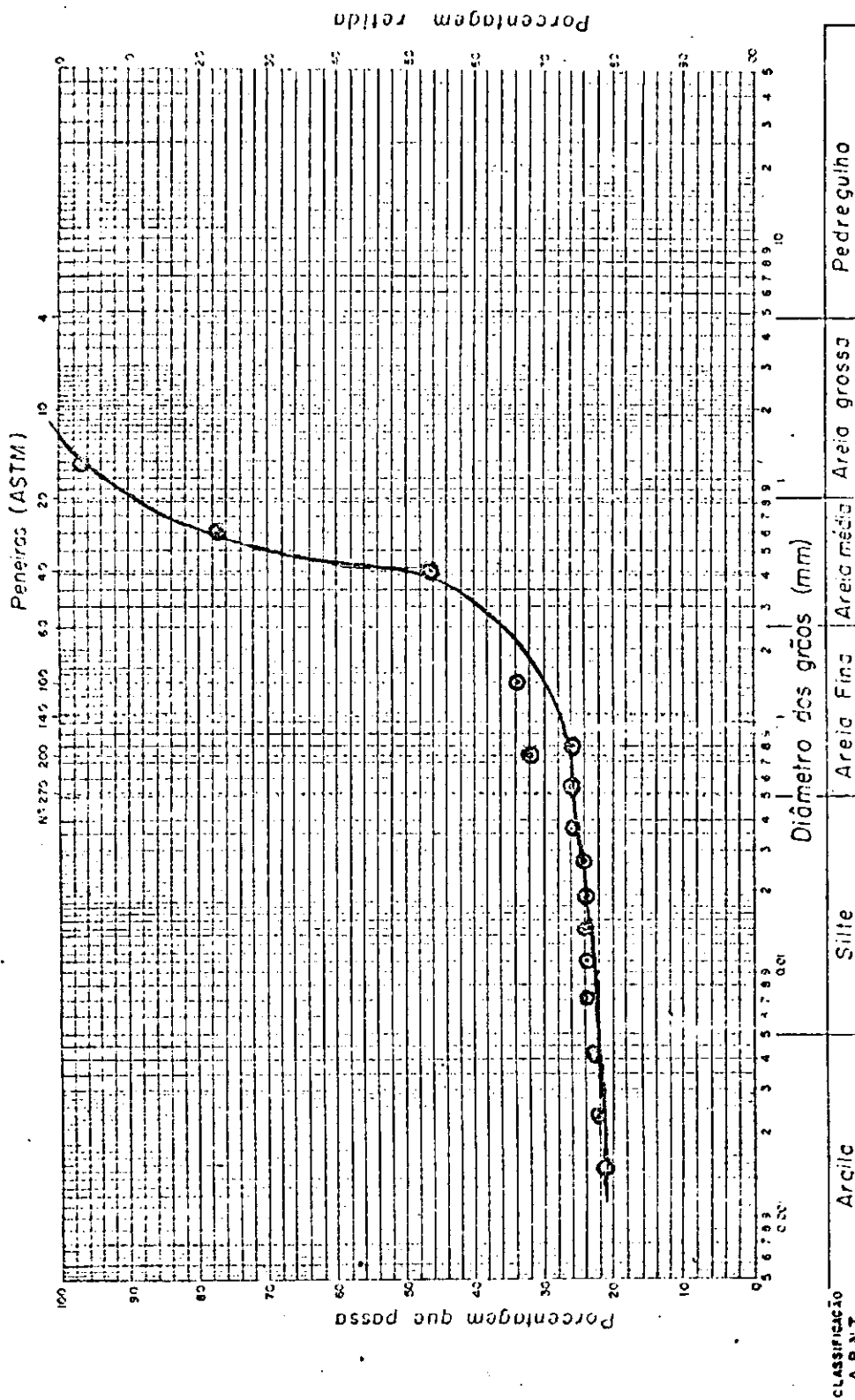
QUADRO Nº 04 - Resultados Obtidos na Análise Granulométrica das Amostras Representativas de Cada Encosta Pesquisada.

GRANULOMETRIA



CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA BOLÃO am.1

GRANULOMETRIA



CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA BOLÃO am.2

TAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

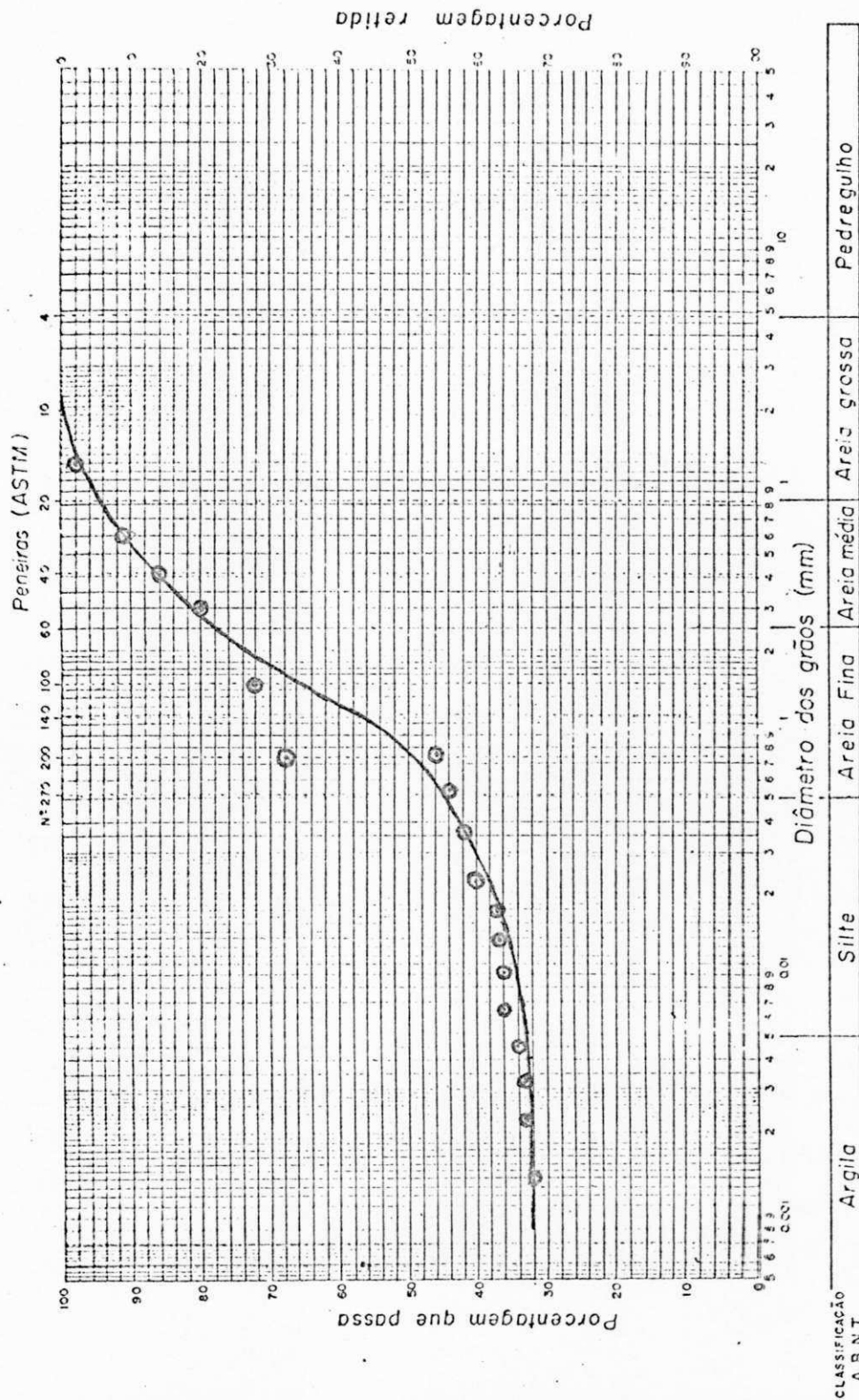
CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

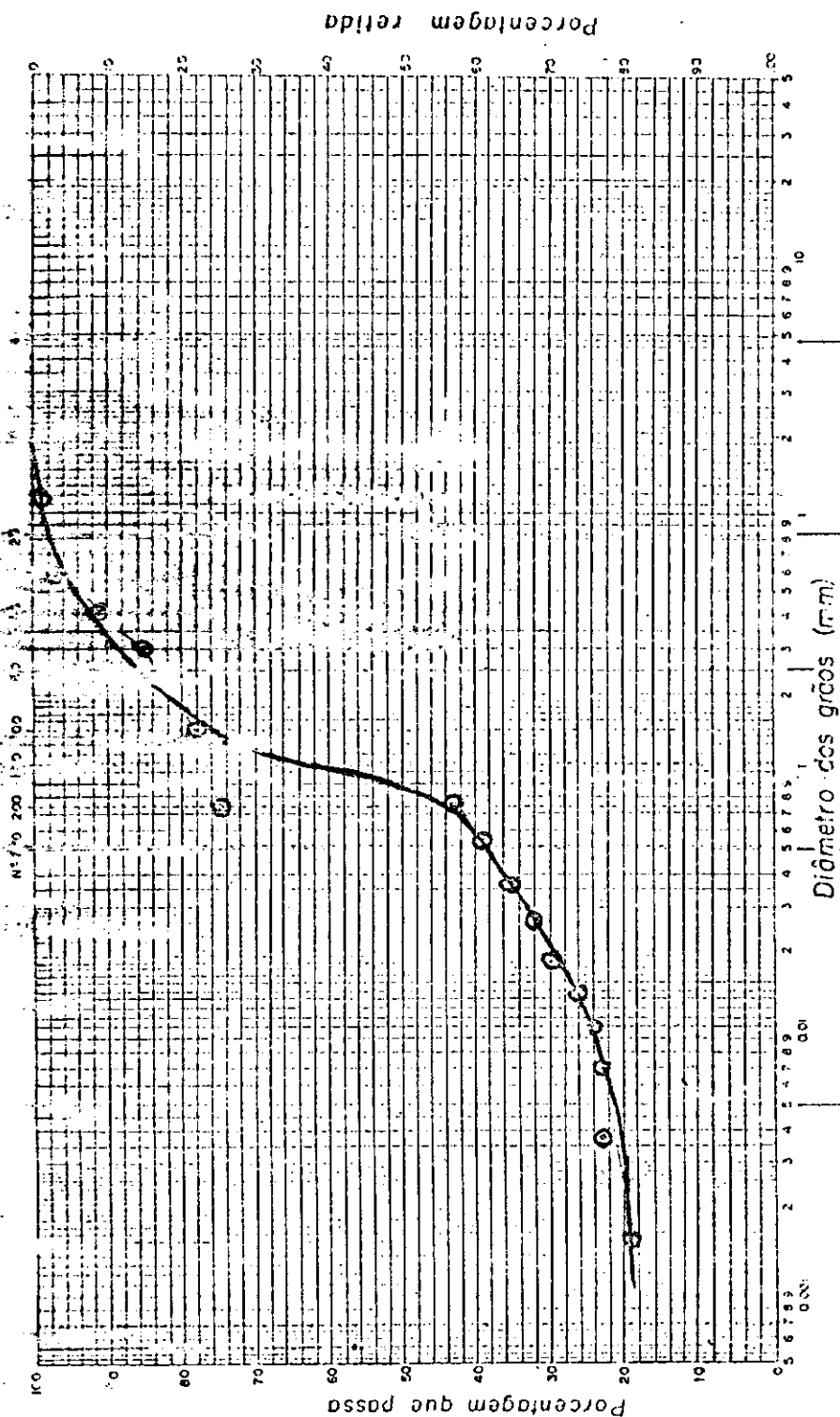
GRAFICO Nº 02 :B

GRANULOMETRIA



GRANULOMETRIA

Porcentagem (ASTM)



CLASSIFICAÇÃO ASTM	Diâmetro dos grãos (mm)			Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
	0.075	0.15	0.3						

CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA MUTANGE am.02

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

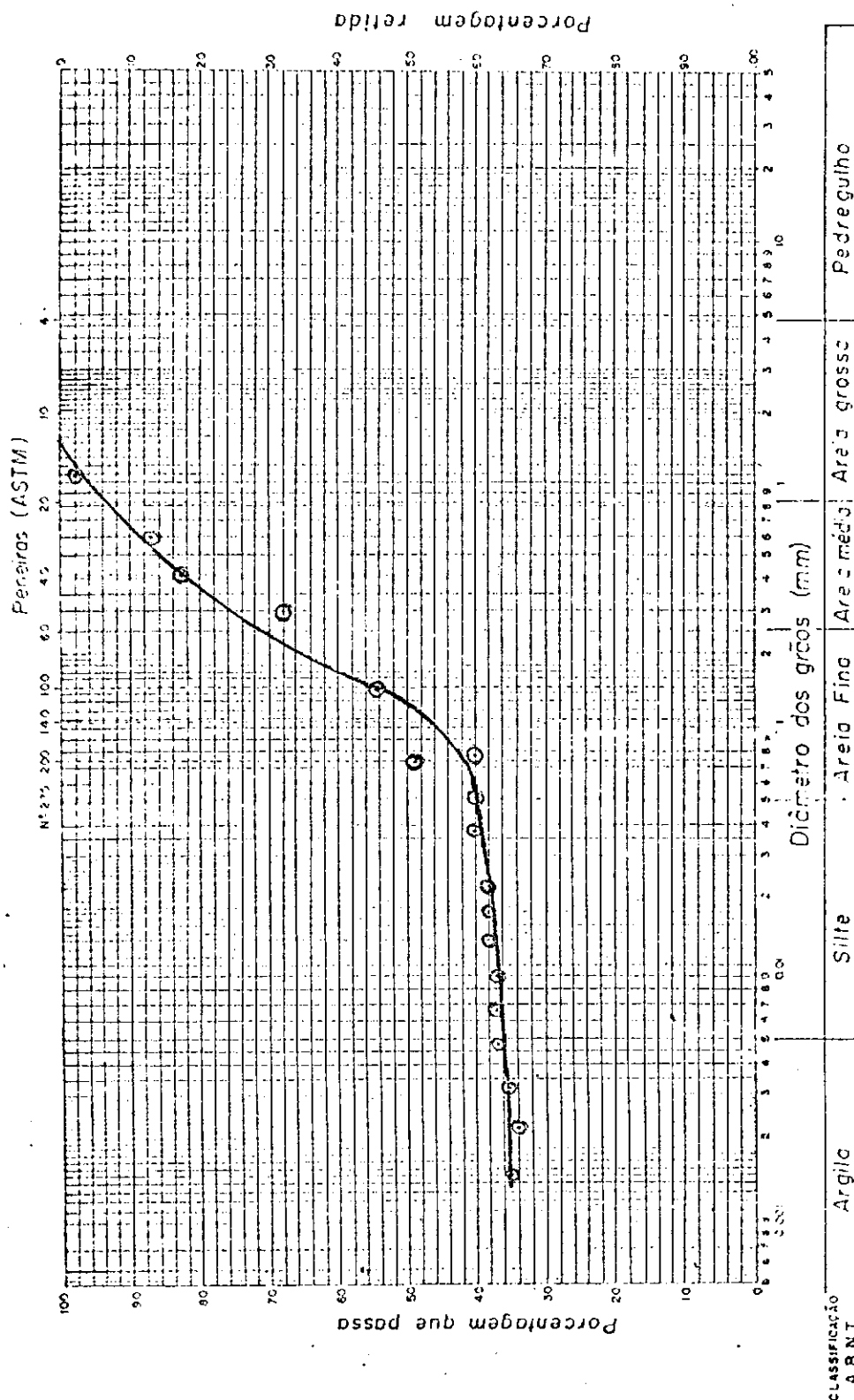
CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

1992

GRAFICO Nº 02 .D

GRANULOMETRIA



CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA BEBEDOURO

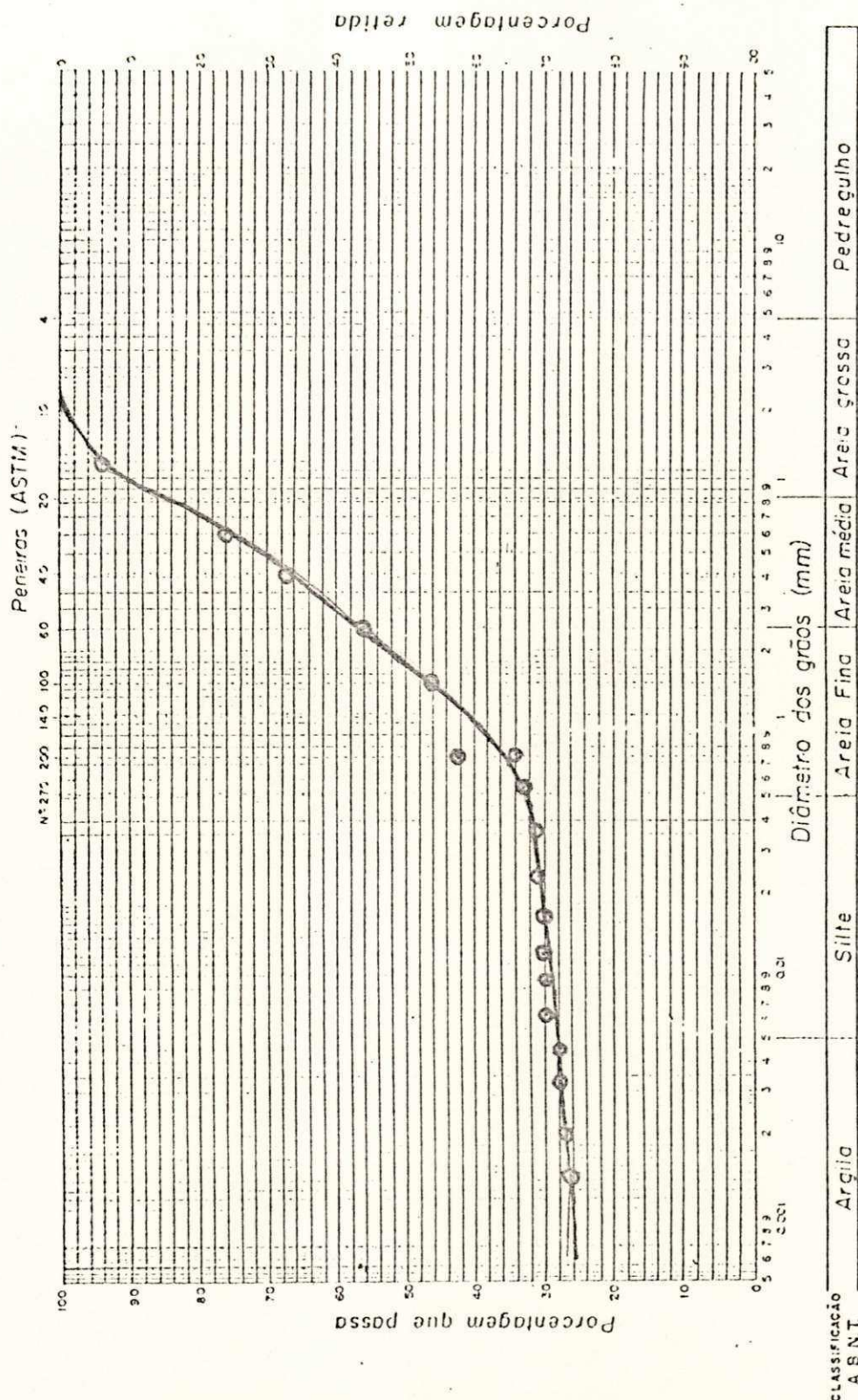
ERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

GRÁFICO Nº 02-E

GRANULOMETRIA



CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA CHÃ DA JAQUEIRA

SERTÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

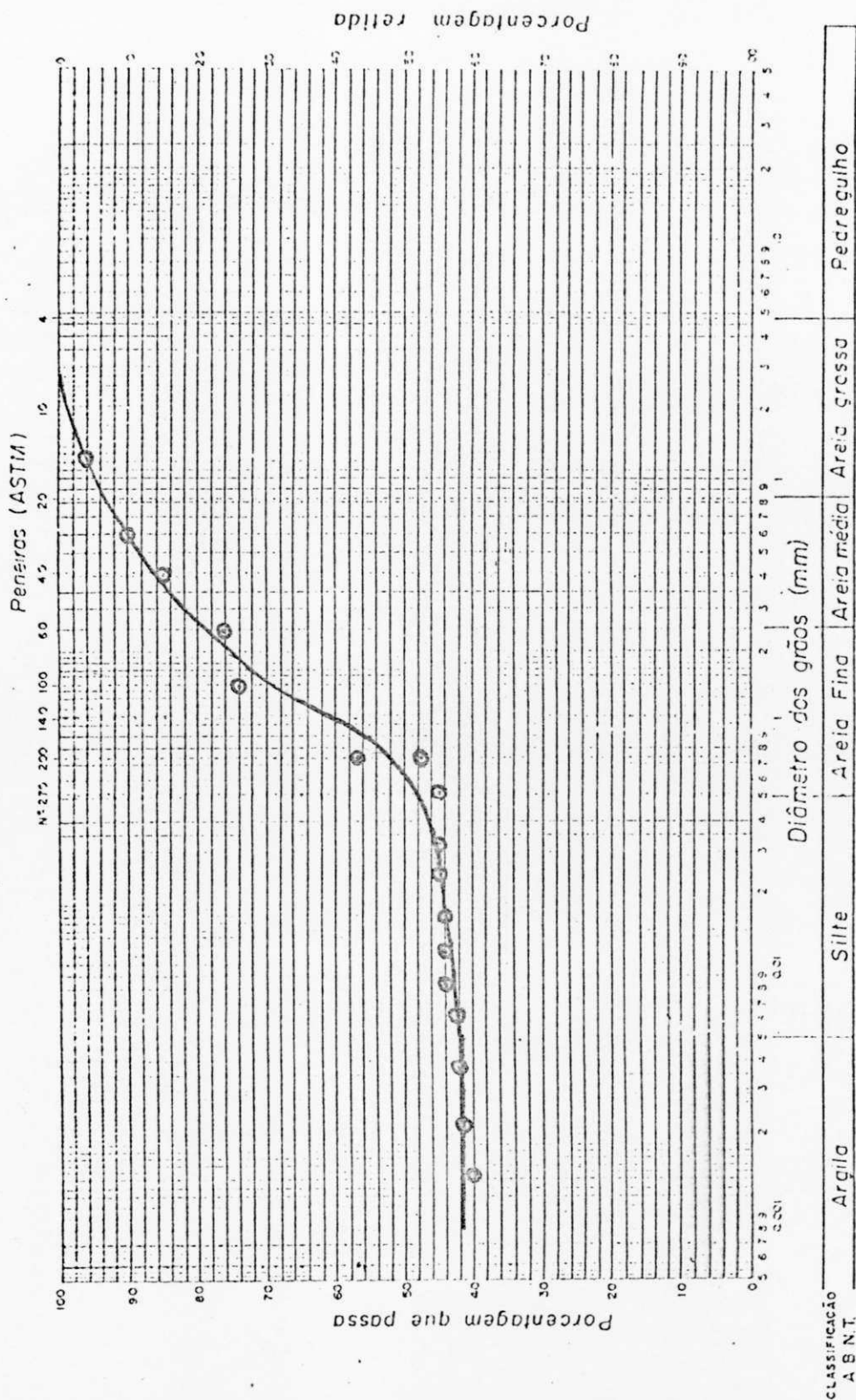
CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

GRAFICO Nº C2.F

GRANULOMETRIA



CURVA GRANULOMÉTRICA DA ENCOSTA REGINALDO II

ERTIÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

GEOTECNIA

1992

GRAFICO Nº 02.G

fração fina, relativa às partículas de silte e argila, foi objeto de análise granulométrica por sedimentação, cujos resultados encontram-se ilustrados conjuntamente com a granulometria por peneiramento no Gráfico N^o 02

7.2) Índices de Consistências

Os Limites de Liquidez (LL) foram calculados utilizando-se o aparelho de Casagrande e o Cone de Penetração. No Quadro N^o 05 são apresentados os resultados desses ensaios, onde o índice de plasticidade (IP), foi calculado com relação ao LL obtido com o aparelho de Casagrande e com o Cone de Penetração. Apesar da granulometria do solo ser predominantemente arenosa, o limite de liquidez obtido através do Cone de Penetração, mostrou a existência de plasticidade em todas as amostras, cujos extremos são Bolão I am. 1 com $IP = 9,2$ e, a encosta Chã da Jaqueira com $IP = 17\%$. No entanto, quando o Limite de Liquidez foi analisado através do Aparelho de Casagrande, as amostras Bolão I am. 1, Bolão I am. 2 e Mutange am. 2 mostraram-se "não plásticas" (NP). Os limites extremos dos Índices de Plasticidade (IP) através do aparelho de Casagrande são Reginaldo II $IP = 7,9\%$ e Chã da Jaqueira $IP = 10,8\%$, tudo conforme apresentado no Quadro N^o 05

Com relação a variabilidade de valores dos limites de Liquidez (LL), Marinho (1976) enfatizou que a maior desvantagem

do aparelho de Casagrande é que o limite de liquidez é obtido através de um ensaio dinâmico de cisalhamento. Sugere Marinho (1976), que "parece lógico" que a solução advenha da substituição do aparelho por um outro cujo cisalhamento seja do tipo estático. Outros pesquisadores a exemplo de Silveira (1987), vêm difundindo sistematicamente a confiabilidade do cone de penetração como equipamento ideal para, através de movimento estático de cisalhamento, determinar o limite de liquidez dos solos. Acreditam os pesquisadores citados que o cone de penetração fornece menor variabilidade de resultados carecendo, no entanto, de normatização brasileira, a exemplo do que já ocorre em vários outros países. No caso da presente pesquisa, os resultados obtidos, constituem uma contribuição ao estudo comparativo entre os dois métodos quando aplicados a solos tropicais.

7.3) Massa Específica Real dos Grãos do Solo

Os valores para a Massa específica Real dos Grãos do Solo estão muito próximos da Massa Específica Real dos Grãos de ³ quartzo que, segundo Leinz (1987) é de 2,650 g/cm . Sugere assim que seja basicamente esta a composição mineralógica do solo, uma vez que os valores de suas massas específicas estão muito próximos deste valor, conforme apresentados no Quadro N 2 06.

INDICES DE CONSISTÊNCIAS DOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

TIPO DE ENSAIO	E N C O S T A S						
	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
LL Cone de Penetra- ção	45,6	44,2	53,6	50,2	41,0	46,0	51,8
LL Casa- grande	33,6	33,2	45,6	41,2	34,0	39,8	43,6
IP (Cone)	12,3	9,2	16,2	12,0	12,0	17,0	16,1
IP (Casa - grande)	NP	NP	8,2	3,0	NP	10,0	7,9

QUADRO Nº 05 - Valores encontrados do Limite de Liquidez (LL %) e Índice de Plasticidade (IP) através do aparelho de Casagrande e do Cone de Penetração, para todas as amostras analisadas.

MASSA ESPECIFICA REAL DOS GRÃOS DOS SOLOS PESQUISADOS

* * *	E N C O S T A S						
	Bolão I	Bolão I	Mutange	Mutange	Chã de	Chã da	Reginal-
	am. 1	am. 2	am. 1	am. 2	Bebed.	Jaque.	do II
V A L O R E S	2,604	2,612	2,615	2,590	2,663	2,655	2,626

QUADRO Nº 06 - Resultados obtidos para a Massa Específica Real dos Grãos dos Solos das Encostas Pesquisadas.

3

(valores em g/cm)

Os tons avermelhados das amostras deve-se exclusivamente à maior ou menor concentração de óxido de ferro, conforme estudado por Andrade Filho (1988). Sua origem deve-se aos processos intempéricos de hidratação e oxidação das partículas destes solos. Nas amostras estudadas, a presença do óxido de ferro não é significativa para alterar os valores da massa específica real dos grãos do solo, uma vez que a faixa de variação situa-se entre os valores extremos de 2,590 a 2,663, em um intervalo de 0,073, conforme é mostrado no Quadro N° 06.

7.4) Ensaio de Permeabilidade

Estes ensaios são apresentados no Quadro N° 07 e foram realizados em permeâmetro de carga variada. Pelos seus resultados conclui-se que existe uma similaridade na forma estrutural dos grãos desses solos, o que confirma-se pela mesma gênese e formação geológica. Verifica-se ainda que o incremento médio entre a permeabilidade vertical e a horizontal é de 3,4 vezes. Por fim, os resultados finais de todas as análises apontam para a classificação desses solos como de baixa permeabilidade. O Quadro N° 07 mostra que a permeabilidade vertical variou de $0,29 \times 10^{-4}$ cm/s até o máximo de $4,91 \times 10^{-4}$ cm/s e, a permeabilidade horizontal variou de $0,74 \times 10^{-4}$ cm/s ao máximo de $18,23 \times 10^{-4}$ cm/s, onde a permeabilidade mais baixa foi verificada na encosta Mutange am.1 e a mais alta deu-se na encosta Bolão am.2, o que configura-se que os solos estudados são arenosos de baixa permeabilidade.

7.6) Índices Físicos Complementares

Complementarmente, analisou-se índices físicos complementares, como mostrado no Quadro N^o 08.

A Massa Específica Aparente seca, obtida in situ, denota um solo de baixa densidade e, os índices de vazios reforçam, mais uma vez, as características arenosas do solo. A amplitude de sua magnitude varia de 1,444 g/cm³ na encosta Mutange am.2 e 1,498 g/cm³ na encosta Chã de Bebedouro a um máximo de 1,815 g/cm³ na encosta Bolão I am.2.

Conhecendo-se a Massa Específica Aparente Seca do solo, in situ, e a Massa Específica Real dos Grãos deste mesmo solo, foram obtidos os valores de índice de vazios para cada encosta. Para tanto, foi utilizada a fórmula

$$[e = (M_{er} / M_{ea}) - 1],$$

onde:

M_{er} = Massa Específica Real dos Grãos do Solo, e

M_{ea} = Massa Específica Aparente in situ

Os índices de vazios obtidos mostram-se variando de um mínimo de 0,44 na encosta Bolão I am.2 e 0,51 na encosta Bolão I am.1, até um máximo de 0,79 na encosta Mutange am.2.

PERMEABILIDADE DOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

*	E N C O S T A S						
	Bolão I	Bolão I	Mutange	Mutange	Chã de	Chã da	Reginal-
*	am. 1	am. 2	am. 1	am. 2	Bebed.	Jaque.	do II
Kv	1,39	4,91	0,29	2,76	3,21	4,54	3,94
Kh	5,20	18,23	0,94	10,63	9,95	14,53	11,43

QUADRO Nº 07 -

Valore obtidos para os Coeficientes de:

Permeabilidade Vertical (Kv, cm/s $\times 10^{-4}$)

Permeabilidade Horizontal (Kh, cm/s $\times 10^{-4}$)

Com base nesses resultados de análise acima e empregando-se a fórmula $S = h \cdot P_e / e$, calculou-se o grau de saturação das amostras.

onde: S = Grau de Saturação;

h = Umidade do Solo Durante o Ensaio, %;

M_{er} = Massa Específica Real dos Grãos do solo g/cm^3 ;

e = Índice de Vazios.

Assim, os valores de índices de vazios obtidos são apresentados no Quadro N° 08, e o grau de saturação variou de um mínimo de 97,2% na encosta Chã da Jaqueira até o máximo de 98% na encosta Reginaldo II, como mostra o Quadro N° 12. Isto justifica o fato de que os solos pesquisados possuem baixa Massa Específica Aparente Seca. A saturação atingida, em média de 97,5%, é satisfatória e bastante para imprimir elevada variação na magnitude dos parâmetros de resistência à ruptura, conforme pode-se observar seus valores no Quadro N° 12.

7.6) Ensaio de Compactação

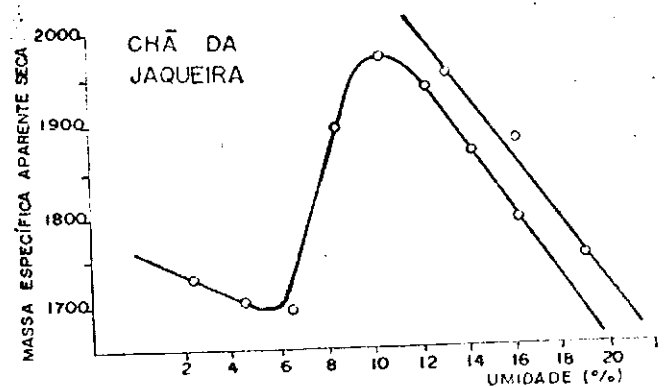
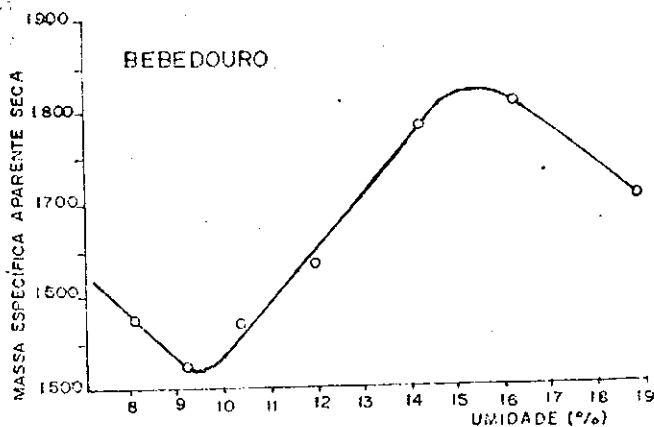
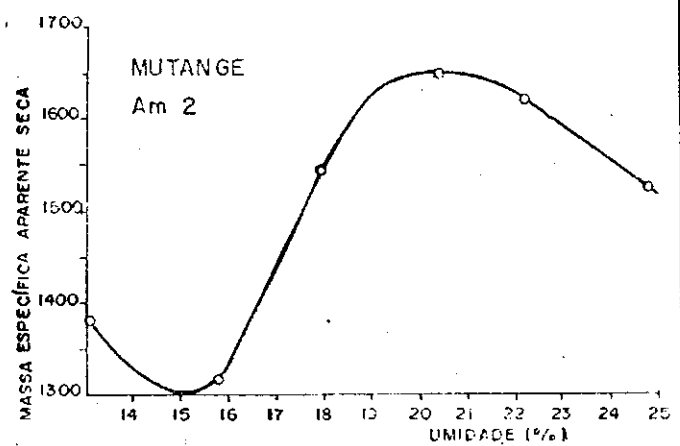
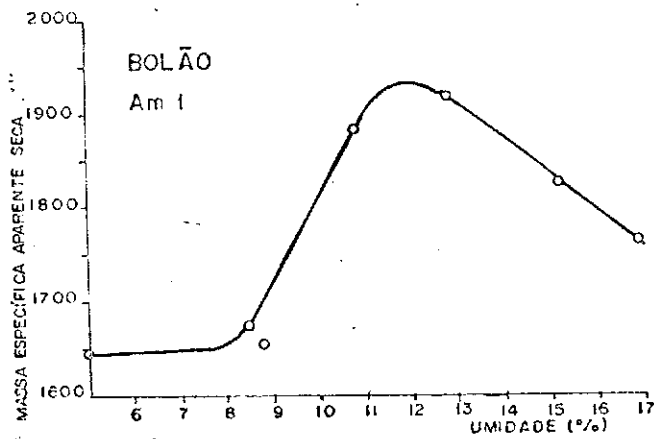
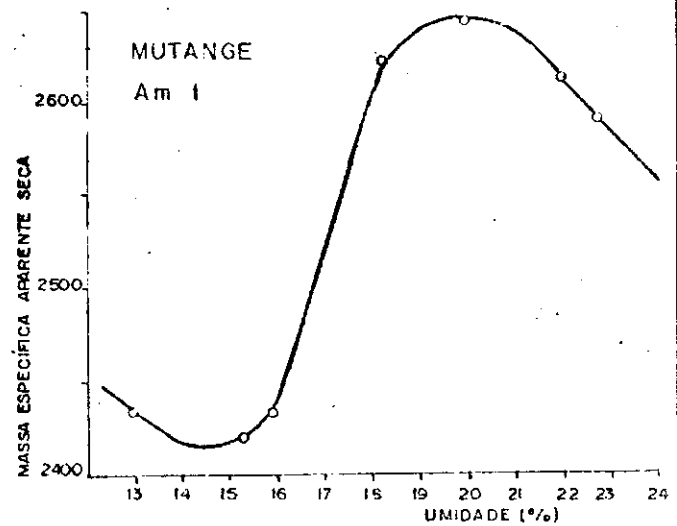
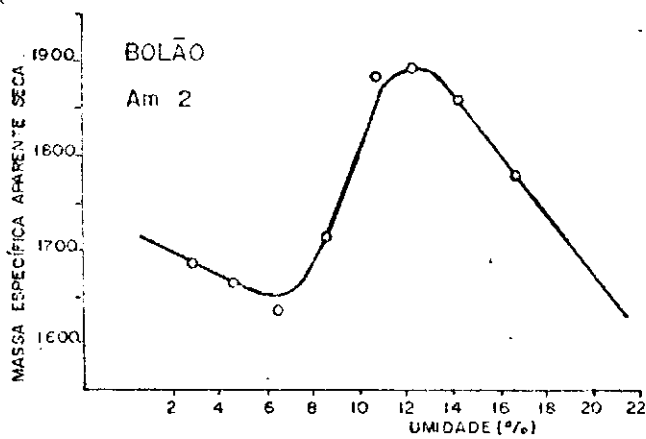
O ensaio de compactação destinou-se a reproduzir em laboratório as condições de campo, uma vez que houve a impossibilidade de coleta de amostras indeformadas em algumas encostas. Ressalta-se aqui, que a estrutura original do solo foi totalmente destruída neste processo de simulação. Essa destruição poderá induzir, por vezes, erros grosseiros de interpretação dos resultados. No entanto, entre as alternativas

do conhecimento parcial e o desconhecimento total dos parâmetros geotécnicos, optou-se logicamente pela primeira alternativa. Por questões comparativas, foram realizados ensaios de Compactação utilizando-se a energia do Proctor normal em todas as amostras dos solos pesquisados. Assim, obteve-se valores muito baixos para alguns pesos especificos aparentes secos, conforme observa-se no Quadro Ng 09. Os solos da encosta Mutange apresentaram os valores mais baixos, com $1,645 \text{ g/cm}^3$ e $1,650 \text{ g/cm}^3$ para as amostras de número 1 e 2, respectivamente da encosta mutange. O valor mais alto, de $1,970 \text{ g/cm}^3$, foi apresentado pelo solo da encosta Chã da Jaqueira. As unidades ótimas apresentaram valores inversamente proporcional à magnitude dos pesos especificos. Desta forma, a encosta Mutange am.1 e am.2 tiveram respectivamente as unidades ótimas mais altas, nos valores resctivos de 20,0% e 20,4%. Em contraposição, a encosta Chã da Jaqueira apresentou a unidade ótima mais baixa, no valor de 10,4%.

As curvas de compactação dos solos, curiosamente mostraram, para unidades muito baixas, comportamento anômalo assumido pelo início do ramo seco.

No início do ramo seco, o peso especifico aparente seco do solo, diminui com o incremento da unidade para, posteriormente, no mesmo ramo seco aumentar a densidade à razão direta do aumento de unidade, conforme pode-se observar no Gráfico Ng 02.

ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO MOSTRANDO COMPORTAMENTO ANÔMALO
NO INÍCIO DO RAMO SECO



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

GRÁFICO Nº 03

INDICES FISICOS COMPLEMENTARES DOS SOLOS PESQUISADOS

* **		E N C O S T A S						
**		Bolão I	Bolão I	Mutange	Mutange	Chã de	Chã da	Reginal-
**		am. 1	am. 2	am. 1	am. 2	Bebed.	Jaque.	do II
Mea		1,726	1,815	1,532	1,444	1,498	1,567	1,574
in situ								
e		0,51	0,44	0,71	0,79	0,78	0,70	0,67

QUADRO Nº 08

-

Valores obtidos para os índices Físicos complementares:

3

Masa Específica Aparente Seca (Mea= g/cm)
Índice de Vazios (e).

ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO NOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

ASSHO	E N C O S T A S						
	Bolão I	Bolão I	Mutange	Mutange	Chã de	Chã da	Reginal-
NORMAL	am. 1	am. 2	am. 1	am. 2	Bebed.	Jaque.	do II
Mea laborat.	1,895	1,935	1,645	1,650	1,820	1,970	1,727
Umidade Ótima	12,2	12,0	20,0	20,4	15,5	10,4	17,4

QUADRO Nº 09 - Resultados obtidos através dos ensaios de compactação:

3

Massa Específica Aparente Seca (g/cm³)
Umidade Ótima (%)

A anomalia aqui observada, já foi identificada em solos lateríticos com montmorilonita, por ocasião de pesquisas realizadas no Laboratório de Solos II da UFPb, em Campina Grande.

Segundo Souza Santos (1975), a reflexão basal da ilita e da montmorilonita são muito próximas. Isto pode dar razão a erros interpretativos na leitura de alguns picos de deflatogramas. Os solos aqui analisados mineralogicamente através de difração de Raios-X acusaram baixos teores de ilita (ver quadro Ng 11).

7.7) Análise Mineralógica

Na tentativa de explicar as eventuais anomalias geotécnicas, procurou-se identificar o solo através da análise mineralógica.

A fração graúda do solo foi analisada macroscopicamente à vista desarmada, oportunidade em que identificou-se a "mineralogia" dos pedregulhos e areias grossas. No caso dos solos provenientes da encosta Bolão I am.1 e am.2 identificou-se os pedregulhos como fragmentos de quartzo rolado, desarestado, de coloração leitosa e sem brilho. Os pedregulhos das encostas Mutange e Chã de Bebedouro, são constituídos por concreções ferruginosas de laterização incipiente. Por fim, as amostras das encostas Chã da Jaqueira e Reginaldo II possuem pedregulhos constituídos de concreções cauliniticas de elevadas resistências

em baixas umidades, porém de fácil e crescente desagregação com o incremento do teor de umidade.

Complementarmente, para o conhecimento da fração microscópica desses solos, foram encaminhadas amostras representativas de cada um ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, IPT, para análise por difração de raios-x. Com isso, pretendeu-se promover a explicação de determinados fatores geotécnicos, através do conhecimento prévio do comportamento dos argilominerais constituintes.

Como resultado desses ensaios obteve-se o reconhecimento qualitativo e quantitativo dos argilo minerais constituintes do solo e apresentados nos Quadros Nº 10 e Nº 11.

No difratograma, o grupo das caulinitas é facilmente identificável. No entanto as reflexões basais das ilitas (micas hidratadas) costumam ser mascaradas por reflexões muito próximas, quer sejam de um lado pelas cloritas e vermiculitas, quer sejam de outro lado pelas montmorilonitas. Este fato exigiu que a identificação fosse feita com base na expansibilidade das camadas basais através da utilização comparativa entre os resultados dos difratogramas de amostras naturais, aquecidas e trabalhadas com etilenoglicol.

Dos resultados, conclui-se que os solos pesquisados são constituídos basicamente por quartzo, tendo como minerais acessórios a caulinita e em menor proporção a ilita.

RESUMO DAS ANÁLISES MINERALÓGICAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

TRATAMENTO DA AMOSTRA: RAIOS-X TOTAL

	E N C O S T A S						
ARGILO-	Bolão I	Bolão I	Mutange	Mutange	Chã de	Chã da	Reginal-
MINERAL	am. 1	am. 2	am. 1	am. 2	Bebed.	Jaque.	do II
Quartzo	75-80	80-85	50-55	50	75-80	80-85	50-55
Caulini- ta	25-20	15-20	45-50	50	20-25	15-20	45-50
Ilita	-	-	-	-	traços	traços	-

QUADRO Nº 10 - Valores Percentuais dos minerais Constituintes em cada amostra Pesquisada.
 Quartzo (%)
 Caulinita (%)
 Ilita (%)

RESUMO DAS ANÁLISES MINERALÓGICAS POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

TRATAMENTO DA AMOSTRA: NATURAL / GLICOL / AQUECIDA

	E N C O S T A S						
	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
Quartzo	traços	traços	traços	traços	traços	traços	traços
Caulini- ta	100	95-100	95-100	95-100	100	95-100	95-100
Ilita	-	0-5	0-5	0-5	traços	0-5	0-5

QUADRO Nº 11 - Valores Percentuais dos minerais Consti-
tuintes em cada Amostra Pesquisada:
Quartzo (%)
Caulinita (%)
Ilita (%)

7.8) Ensaios Triaxiais

Os ensaios triaxiais não adensados não drenados medem a o ângulo de atrito e a coesão não drenada dos solos. Admitiu-se aqui a saturação total da encosta por ocasião das chuvas duradouras, situação onde as tensões totais são iguais as tensões neutras, ou seja: por não haver drenagem e, por conseguinte, não havendo dissipação das tensões neutras, não ocorrerão tensões efetivas. Simula-se com isto as condições de pré-liquefação do

solo, onde a coesão é o único parâmetro de resistência pois, teoricamente, a envoltória de ruptura assume um coeficiente angular igual a zero. O grau de saturação, após o ensaio, atingiu o valor próximo de 100%, pois variaram no intervalo situado entre 97,36% e 98,24%, como mostrado no Quadro N° 12. Observou-se que o ângulo de atrito interno continuava presente através de pequenos coeficientes angulares assumidos pela envoltória de ruptura.

O Quadro N° 13 mostra os resultados dos ensaios triaxiais realizados com o solo na umidade natural, e os Gráficos N°s 03 e N° 04 representam o comportamento típico dos ensaios, assumidos pelas curvas de tensão/deformação e pelas envoltórias de rupturas. Estes elementos mostram a variação dos valores do ângulo de atrito e da coesão, por ocasião das resistências às rupturas de pico e das resistências residuais.

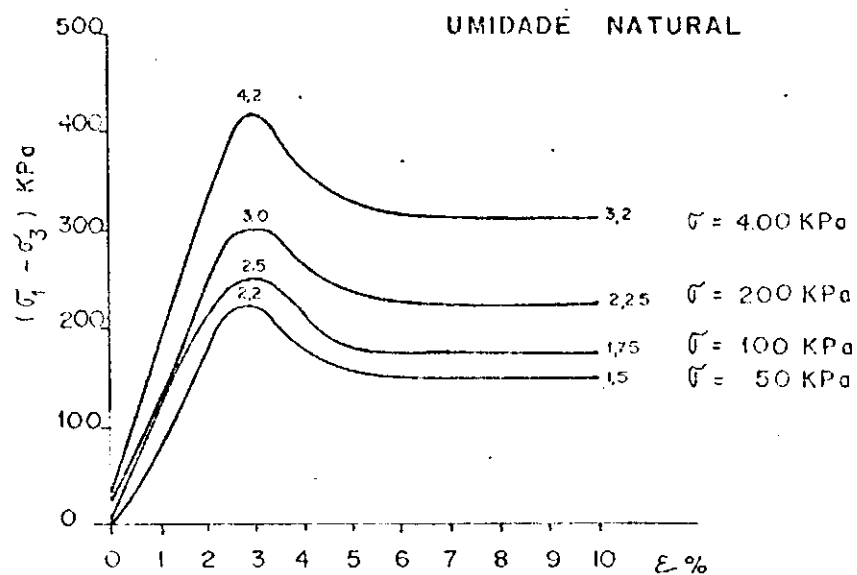
Como a resistência a ruptura é fornecida pela equação de Mohr-Coulomb, dada pela expressão $T = c + (t-u) \times \tan \theta$,

onde:

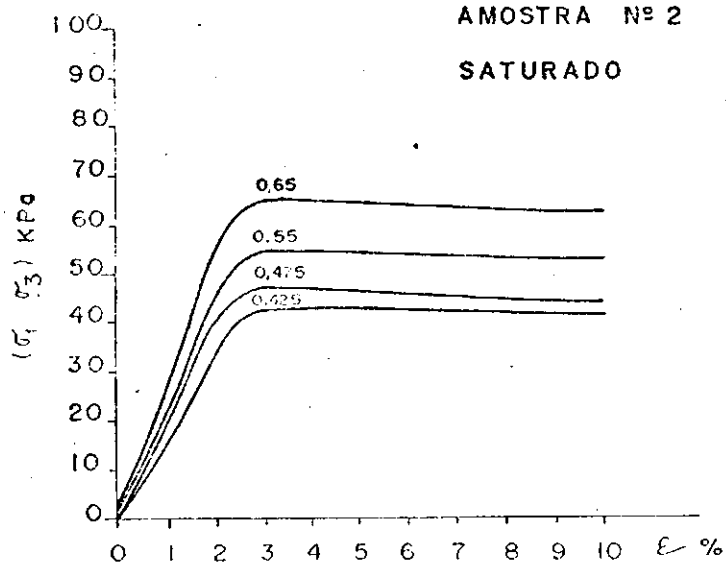
- T = tensão cisalhante aplicada, kPa;
- c = intercepto de coesão apresentado, kPa;
- t = tensão de confinamento aplicada, kPa;
- u = tensão neutra verificada, kPa e
- $\tan \theta$ = valor da tangente do ângulo de atrito interno entre as partículas do solo, em Graus.

Admitiu-se, para efeito de análise comparativa, que a tensão de confinamento seja constante e igual a 200 kPa. Daí, observa-se que o decréscimo de resistência com o incremento de umidade, assim considerada a variação da umidade natural até a umidade de saturação, ocorre conforme ilustrado no Quadro Ng 14 . Desta forma, considerou-se como "resistência relativa", a percentagem em relação a resistência residual, que indica o valor da resistência do solo saturado. Os valores extremos assumidos por

ENCOSTA MUTANGE
AMOSTRA Nº 2
UMIDADE NATURAL



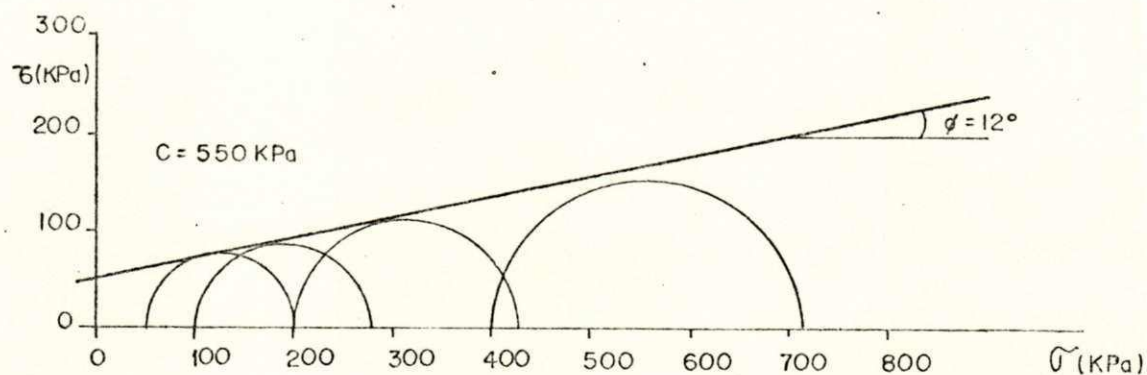
ENCOSTA MUTANGE
AMOSTRA Nº 2
SATURADO



ENCOSTA MUTANGE - Umidade Natural

AMOSTRA Nº 2

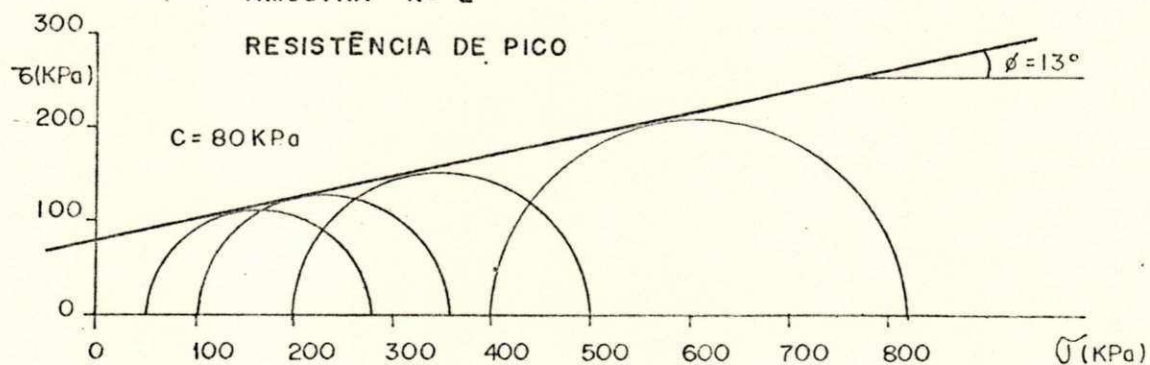
RESISTÊNCIA RESIDUAL



ENCOSTA MUTANGE - Umidade Natural

AMOSTRA Nº 2

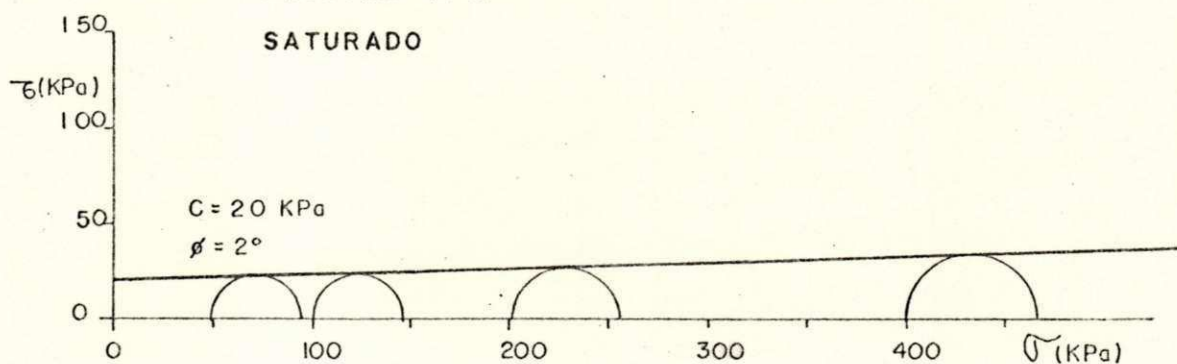
RESISTÊNCIA DE PICO



ENCOSTA MUTANGE

AMOSTRA Nº 2

SATURADO



esta simulação registra o menor decréscimo no ensaio da amostra Bolão I am. 1 que oferece uma resistência a ruptura de 206,34 kPa na umidade natural, decaindo para 42,98 kPa quando submetidas a chuvas intensas. O maior decréscimo foi observado na amostra Chã de Bebedouro que mostrou uma resistência, na simulação, de 134,89 kPa quando em umidade natural, e 28,9 kPa quando saturada, conforme mostrado no Quadro N° 14.

Observa-se, por fim, que a resistência a ruptura, oferecidas pelas amostras saturadas e aqui analisadas, situam-se no intervalo entre 20,8% e 28,9% da intensidade da resistência a ruptura dos mesmos solos na umidade natural, ou seja: na encosta Bolão I am.1 diminui de 206,34 kPa para 42,98 kPa, correspondendo a resistência saturada a 20,8% da resistência na umidade natural; e, a encosta Chã de Bebedouro diminui sua resistência à ruptura de 134,89 kPa para 38,98 kPa, correspondendo esta a 28,9% da primeira. Isto mostra que o cimento agregador destas rochas sedimentares, suaviza em cerca de 4 (quatro) vezes, quando saturado, assim diminuindo a resistência.

No decorrer dos ensaios com amostras saturadas, buscou-se o conhecimento das tensões neutras desenvolvidas. No entanto, de forma curiosa, a leitura do transdutor de pressão, fornecida pelo multímetro digital, transmitiu valores negativos para essas pressões até a ruptura da amostra, oportunidade em que crescia positivamente. Foi então interpretado como tensões de sucção desenvolvidas durante a ruptura, já que as amostras não estavam totalmente saturadas, como visto no Quadro N° 12. Levado os

valores negativos para a equação de calibração dos transdutores, verificou-se que o valor das tensões de sucção variaram no intervalo de 25,0 KPa a 65,0 KPa, durante cada ensaio. Após a ruptura, essas tensões de sucção dissipam-se em virtude do filme de água que se forma no plano cisalhado.

7.9) Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto forneceu o conhecimento do ângulo de atrito interno e coesão das partículas do solo. No entanto, estes parâmetros geotécnicos, são muito mais reflexos das condições de ensaios que das características intrínsecas do solo. Os valores destes parâmetros variam sobremaneira com:

- a) a velocidade de deformação aplicada;
- b) a tensão confinante aplicada;
- c) a umidade da amostra de solo, e
- d) as condições de drenagem durante o ensaio.

A impossibilidade de controlar as condições de drenagem é, a limitação maior do ensaio de cisalhamento direto. No entanto, supõe-se que os ensaios rápidos e, principalmente em amostras sob baixíssimos teores de umidade, assumam comportamento similar ao ensaio UU do triaxial. Assim, tenta-se uma repetibilidade de valores, buscando-se maior confiabilidade de resultados.

ENSAIOS TRIAXIAIS (UU) NOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS
SATURADO

Parâme- tros de	E N C O S T A S						
Resis - tência	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
C	25	25	20	20	25	30	25
Ø	5	7	2	2	4	5	5
h %	19,1	16,4	26,5	29,7	28,5	25,9	25,0
S %	97,52	97,936	97,60	97,37	97,30	98,24	97,98

QUADRO Nº 12 - Valores Obtidos para os Parâmetros de Cisalha-
mento dos Solos Estudados, na Simulação de
Chuvas Intensas:
Coesão Total (C, kPa)
Ângulo de Atrito (Ø, graus)
Umidade Natural (h, %)
Grau de Saturação (S, %)

ENSAIOS TRIAXIAIS (UU) NOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

-UMIDADE NATURAL-

RESISTÊNCIA DE PICO							
Parâme- tros de	E	N	C	O	S	T	A S
Resis - tência	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
C	100	170	75	80	-	-	110
Ø	36	38	14	13	-	-	35
RESISTÊNCIA RESIDUAL							
Parâme- tros de	E	N	C	O	S	T	A S
Resis - tência	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
C	100	100	60	55	50	75	80
Ø	28	29	10	12	23	27	26
h %	1,0	0,55	1,60	1,85	2,10	2,40	3,10

QUADRO Nº 13 - Valores Obtidos para os Parâmetros de Cisalhamento dos solos Estudados na Umidade Natural:
Coesão Total (C, kPa)
Ângulo de Atrito (Ø, graus)
Umidade Natural (h, %)

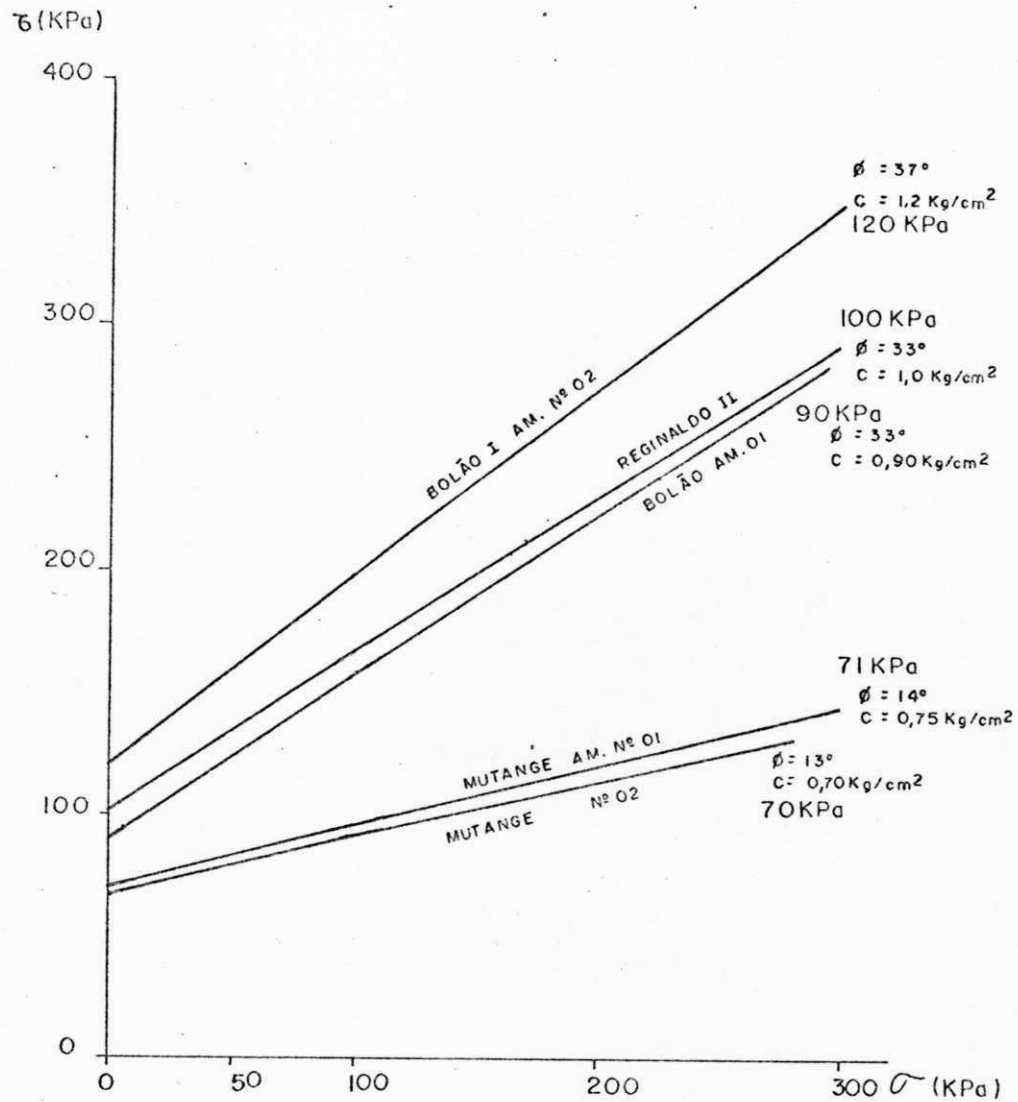
VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A RUPTURA COM A VARIAÇÃO DA UMIDADE

NOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS

	E N C O S T A S						
Humi- dade	Colão I am. 1	Polão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed. Bebed.	Chã da Jaque. Jaque.	Reginal- do II
Natural	206,34	210,86	95,26	97,51	134,89	176,90	177,55
Saturado	42,98	49,56	26,98	26,98	38,98	47,49	42,50
Resisten- cia Rela- tiva(%)	20,80	23,50	28,30	27,70	28,90	26,80	23,90

QUADRO Nº 14 - Valores Obtidos na Simulação de Variação de Resistência a Ruptura entre a Umidade Natural e a Saturação.
Umidade Natural (kPa),
Saturado (kPa), e
Resistência Relativa (%).

ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO
RESISTÊNCIA DE PICO
UMIDADE NATURAL
AMOSTRAS INDEFORMADAS



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
GEOTECNIA

CARLOS ALBERTO MARQUES DOS ANJOS

1992

GRÁFICO Nº 06

Os resultados encontrados são mostrados no Gráfico N^o 05 que apresenta o conjunto de ensaios com seus coeficientes angulares e interceptos de coesão, bem como no Quadro N^o 15 que mostra os valores de coesão, ângulo de atrito interno e umidade de cada amostra de solo estudado. Estes valores do Quadro N^o 15 mostram que no ensaio de cisalhamento direto, os valores da coesão e do ângulo de atrito interno mantiveram-se coerentes com os valores obtidos nos ensaios triaxiais, cujos comentários comparativos são realizados a seguir.

A análise comparativa da repetibilidade entre os resultados obtidos nos ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, mostrados respectivamente nos quadros N^o 13 e N^o 15 indicam que, apesar dos diferentes métodos e equipamentos utilizados, os valores obtidos em ambos os ensaios mostram repetibilidade que os tornam plenamente confiáveis. A amostra n^o 01 da encosta Mutange forneceu valores iguais de ângulo de atrito e coesão ($\phi = 14^\circ$ e $c = 75$ kPa) em ambos os ensaios.

Em contrapartida, a amostra n^o 02 manteve o mesmo ângulo de atrito ($\phi = 13^\circ$), decaindo a coesão (de 80 kPa para 70 kPa) em 10 kPa no ensaio de cisalhamento. Ainda durante o ensaio de cisalhamento das demais encostas, os valores de coesão decaíram em 10% em relação aos valores obtidos no ensaio triaxial, exceção à amostra n^o 02 da encosta Bolão I, pois nesta, o decréscimo foi de 30%. Ou seja, Bolão I am.1 decresceu a coesão de 100 kPa no ensaio triaxial, para 90 kPa no ensaio de cisalhamento; a encosta

Bolão I am.2 decresceu de 170 kPa para 120 kPa e, de 110 kPa para 100 kPa na encosta Reginaldo II. Quanto ao ângulo de atrito, os decréscimos foram de tres graus (de 36g para 33g) e de um grau (de 38g para 37g) nas amostras 1 e 2 das encostas Bolão I e, de dois graus (de 35 para 33) na encosta Reginaldo II. As amostras das encostas Chã de Bebedouro e Chã da Jaqueira não foram submetidas ao ensaio de Cisalhamento Direto, visto que as suas condições de amolgamento não recomendavam. Em resumo, pode-se afirmar que obteve-se boa repetibilidade dos parâmetros de resistência à ruptura, quando ensaiados através dos métodos de cisalhamento direto e triaxial rápidos

7.11) Interpretação Generalizada

Os ensaios revelaram que os solos pesquisados são arenosos e constituídos mineralogicamente por quartzo, caulinita e traços de illita com total predominância do quartzo. Apesar dos índices de vazios (de 0,44 a 0,79), os solos são de baixa permeabilidade vertical e horizontal, sugerindo um solo poroso porém, pouco permeável. Sua massa específica aparente seca varia de $1,444 \text{ g/cm}^3$ a $1,815 \text{ g/cm}^3$, confirmando o índice de vazios.

A análise comparativa entre os valores obtidos nos ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, ambos realizados com amostras na umidade natural e idênticas velocidades de deformações, mostram um pequeno decréscimo nos valores dos

resultados do cisalhamento, conforme observa-se, comparativamente, nos Quadros Nº 13 e Nº 15. Esta anomalia, perfeitamente previsível, e explicável, deve-se aos fatores condicionantes de cada ensaio. No triaxial, as tensões cisalhantes são impostas verticalmente e, no cisalhamento direto, a tensão cisalhante imposta é horizontal. Como as amostras de solo são estratificadas horizontalmente, é perfeitamente natural que ofereçam menor resistência quando submetidas a esforços cisalhantes ao longo de seus planos de fraqueza estrutural. Condições estas, que impõem total aceitação desses resultados como de perfeita repetibilidade, sem considerar o fator atenuante da elevada heterogeneidade existente dentro de uma mesma amostra, refletidas dos complexos aspectos macro e microestruturais destas encostas naturais.

Os ensaios de resistência à ruptura indicam valores de coesão e ângulo de atrito elevados, principalmente quando rompida a amostra em sua unidade natural. No entanto são valores coerentes e consistentes, tendo por base as repetibilidades obtidas durante a pesquisa.

Finalmente, conclui-se que a resistência a ruptura decai em média em quatro vezes por ocasião das chuvas intensas, conforme simulação demonstrada pelo Quadro Nº 14. Por exemplo, imagine-se um elemento de solo confinado triaxialmente à uma tensão de 200 kPa: Utilizando-se a fórmula de Mohr-Coulomb de resistência à ruptura e, nesta fórmula, substituindo suas incógni-

tas pelos respectivos parâmetros de resistência à ruptura obtidos nos ensaios triaxiais realizados, observa-se que, em média, a resistência do solo saturado é quatro vezes menor que a resistência do solo na umidade natural.

7.11 - Análise da Estabilidade das Encostas

Através do programa BISTAT, desenvolvido para micro computadores, que analisa a estabilidade de taludes baseado no método de Bishop (1955) simplificado, verificou-se que as encostas, quando na umidade natural, são estáveis, mostrando um Fator de Segurança (FS) que varia de 1,4 na encosta Chã de Bebedouro a 2,7 na encosta Bolão I. No entanto, quando essas encostas atingem a saturação, o momento de tombamento cresce de 3,2 vezes a 6,1 vezes provocando a ruptura, cujos Fatores de Segurança (FSs) diminuem para valores que vão de 0,3 até 0,5 nas encostas Mutange e Chã da Jaqueira respectivamente. É oportuno citar que para a análise na condição de umidade natural foram utilizados os parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito interno) constantes do Quadro N^o. 13, e nas condições de saturação, utilizou-se os parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito interno) constantes do Quadro N^o. 12; os primeiros referentes ao solo na umidade natural e, o segundo, referente ao solo saturado.

O Quadro N^o 16 mostra os menores Fatores de Segurança (FSs) para a condição de umidade natural e para a condição de

saturação, mostrando que, de uma condição para outra, as encostas passam de estáveis para instáveis.

As Figuras Nq. 13 a Nq. 18 são produtos representativos de saída do programa BISTAT e das simulações adotadas. Tratam-se de seções transversais da encosta Chã de Bebedouro Bolão I e Chã da Jaqueira nas condições de umidade natural e saturação. Mostram seus círculos mais críticos de escorregamentos, seus respectivos raios, coordenadas dos centros desses raios e Fator de Segurança (FS) inerente a cada caso. Esses Gráficos mostram, por fim, que mantidas as condições de simulação e variando apenas a umidade de um valor mínimo a um valor máximo, a ruptura é inevitável.

CISALHAMENTO DIRETO/RESISTENCIA DE PICO NA UMIDADE NATURAL
DOS SOLOS DAS ENCOSTAS PESQUISADAS NATURAL-

Parâmetro -	E N C O S T A S						
Resistência	Bolão I am. 1	Bolão I am. 2	Mutange am. 1	Mutange am. 2	Chã de Bebed.	Chã da Jaque.	Reginal- do II
C	90	120	75	70	-	-	100
Ø	33	37	14	13	-	-	33

QUADRO Nº 15 - Valores Obtidos Para os Ensaio de Cisalhamento Direto dos Solos Estudados na Umidade Natural:
Coesão Total (C, kPa)
Ângulo de Atrito (Ø, graus)

VARIAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA
COM A VARIAÇÃO DE UMIDADE

Condições de Humidade	E N C O S T A S				
	Bolão I	Mutange	Chã de Bebedouro	Chã da Jaqueira	Reginal- do II
F S A E umidade T G natural D U	2,68	1,47	1,42	1,88	2,63
R R E A S N saturar- Ç do D A E S	0,44	0,33	0,45	0,53	0,47

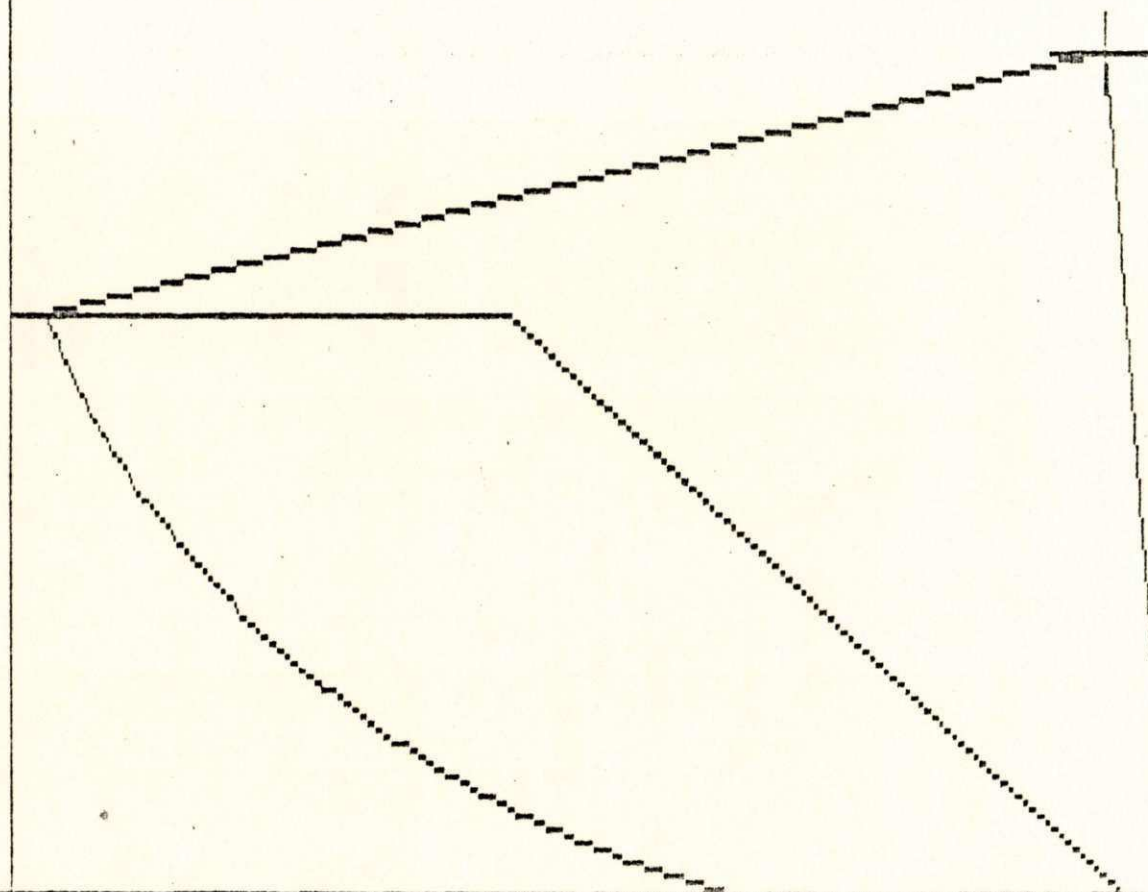
Quadro Nº 16 - Coeficientes de Seguranças obtidos no Estudo da Estabilidade das Encostas pesquisadas, através do programa BISTAT para micro computadores.

FILENAME : BEBEDOU.RES

BISTAT

Xo= 22.50
Yo= -12.50
R = 42.50
FS= 1.424

FIGURA Nº 13 - Seção transversal da encosta Chã de Bebedouro
na unidade natural e características de seu
círculo crítico de escorregamento

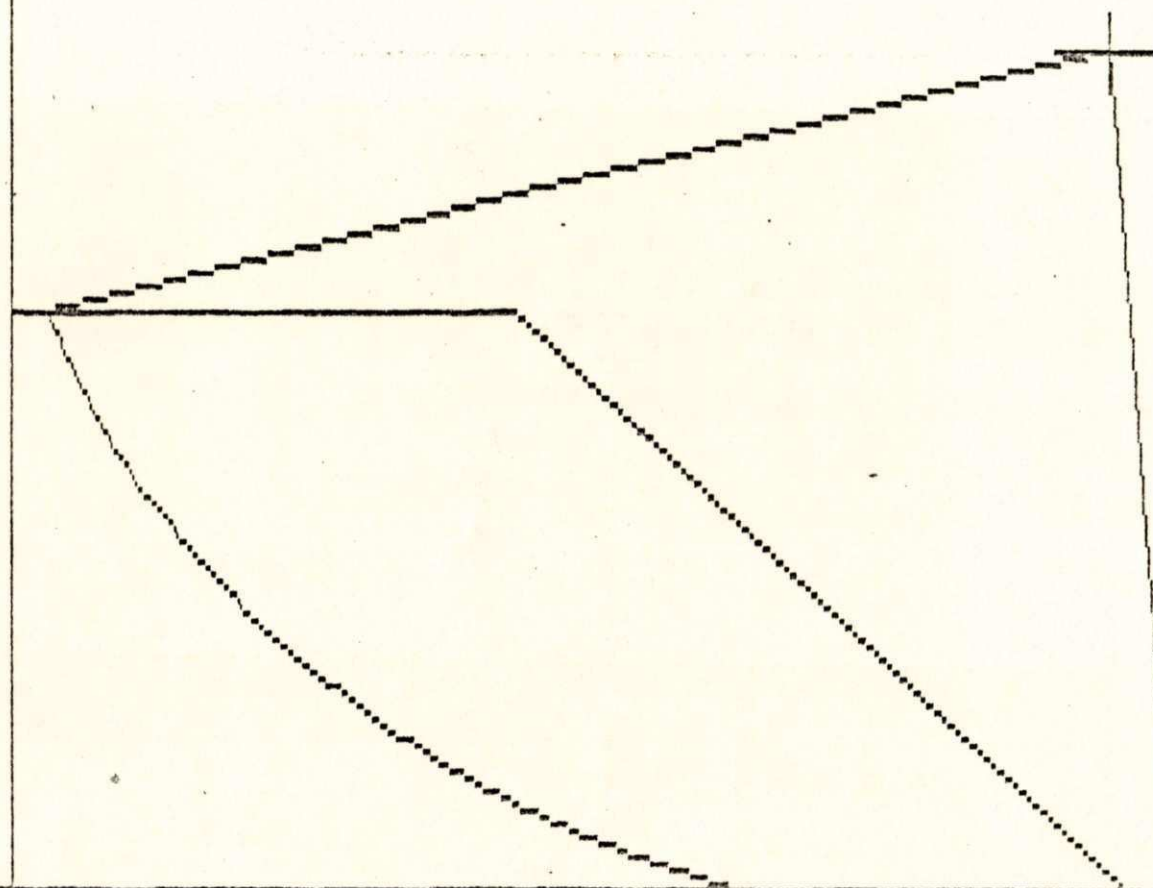


FILENAME : BEBEDOU2.RES

BISTAT

Xo= 22,50
Yo= -12,50
R = 42,50
FS= 0,447

FIGURA Nº 14 - Seção transversal da encosta Chã de Bebedouro,
saturada, e características de seu círculo
crítico de escorregamento

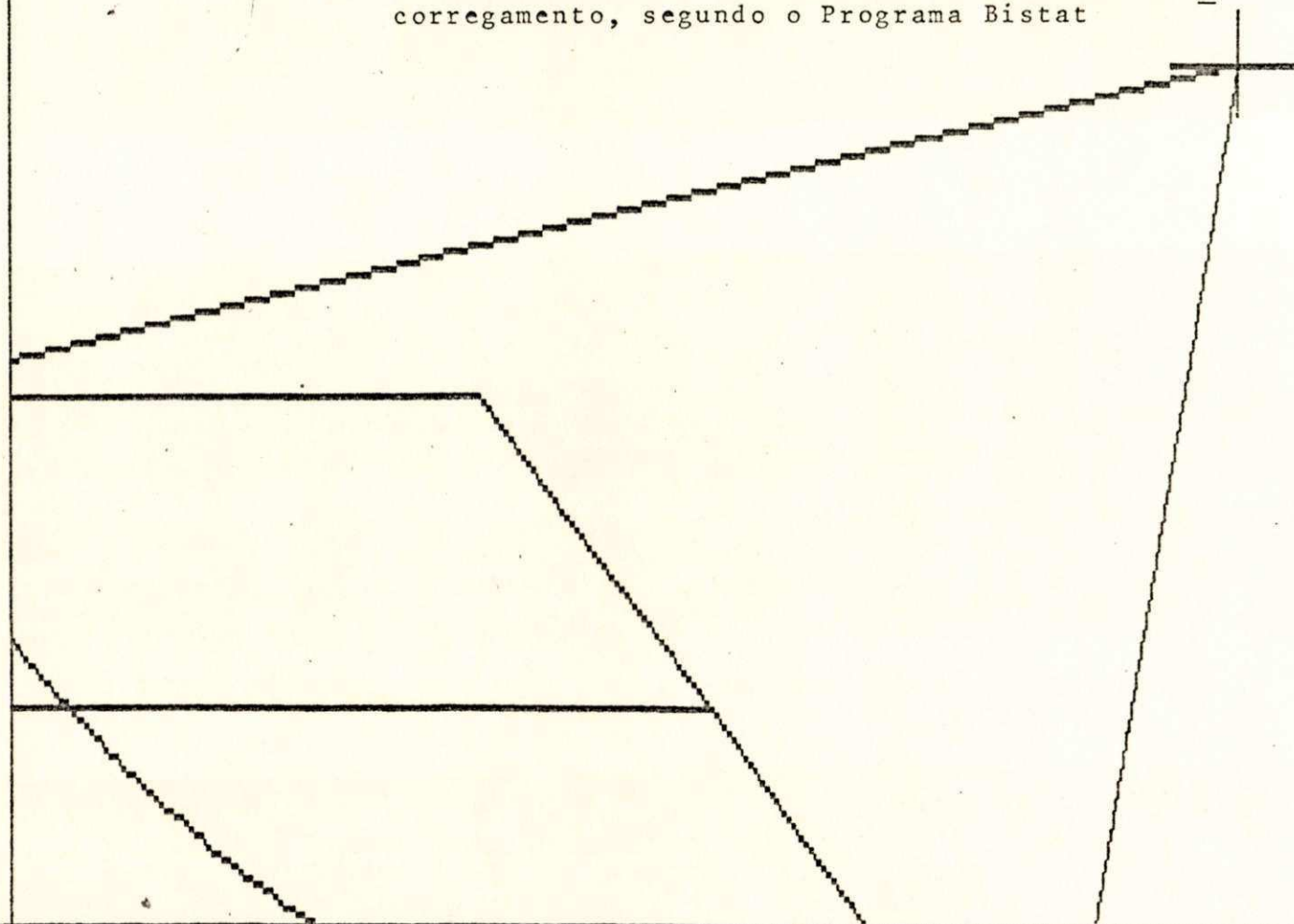


FILENAME : bolao.res

BISTAT

Xo= 22.50
Yo= -12.50
R = 42.50
FS= 2.683

FIGURA Nº 15 - Seção Transversal da Encosta Bolão I na Unidade Natural e características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa Bistat

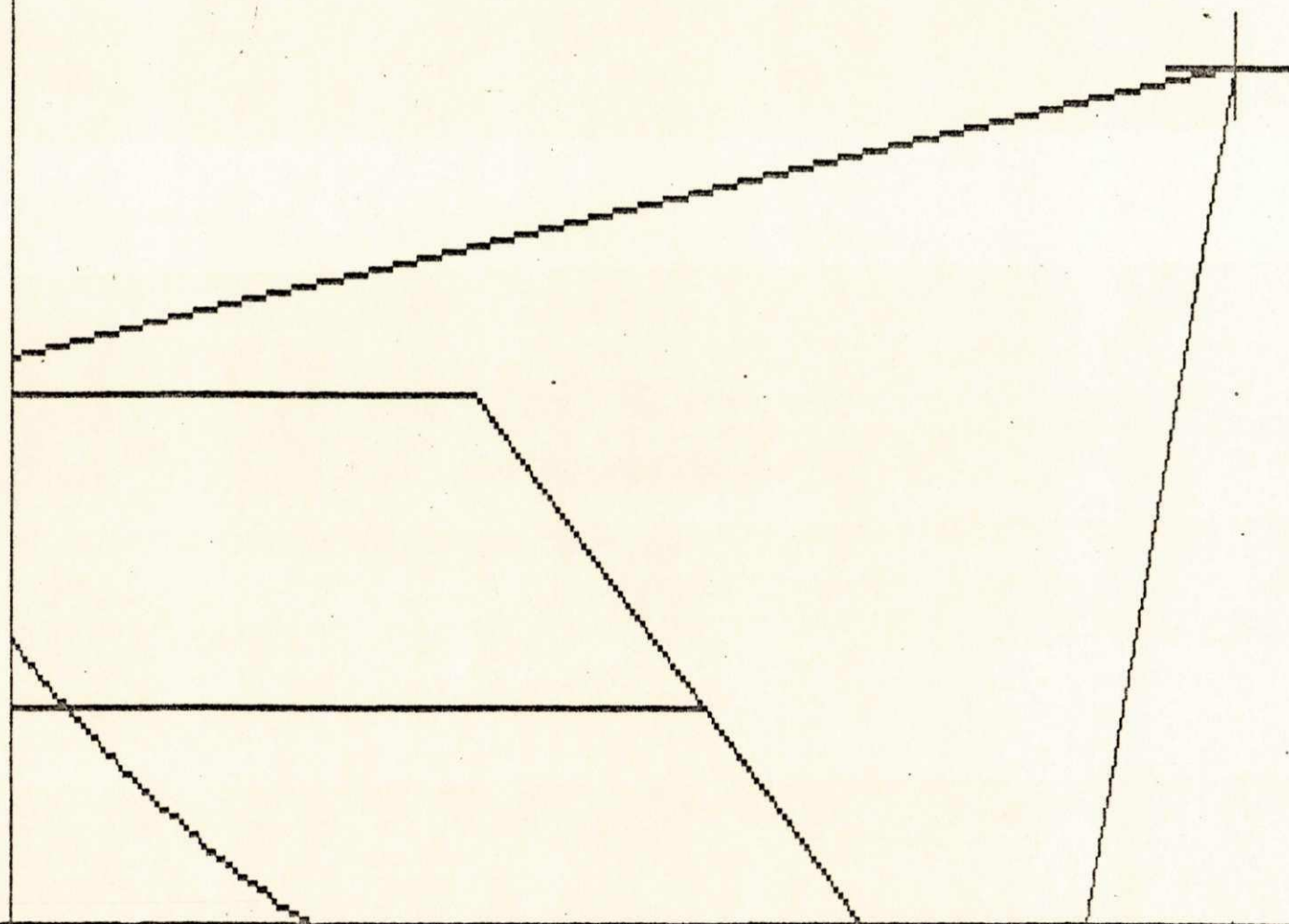


FILENAME : bolao2.res

BISTAT

Xo= 22.50
Yo= -12.50
R = 42.50
FS= 0.436

FIGURA Nº 16 - Seção Transversal da Encosta Bolão I Saturada e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa Bistat

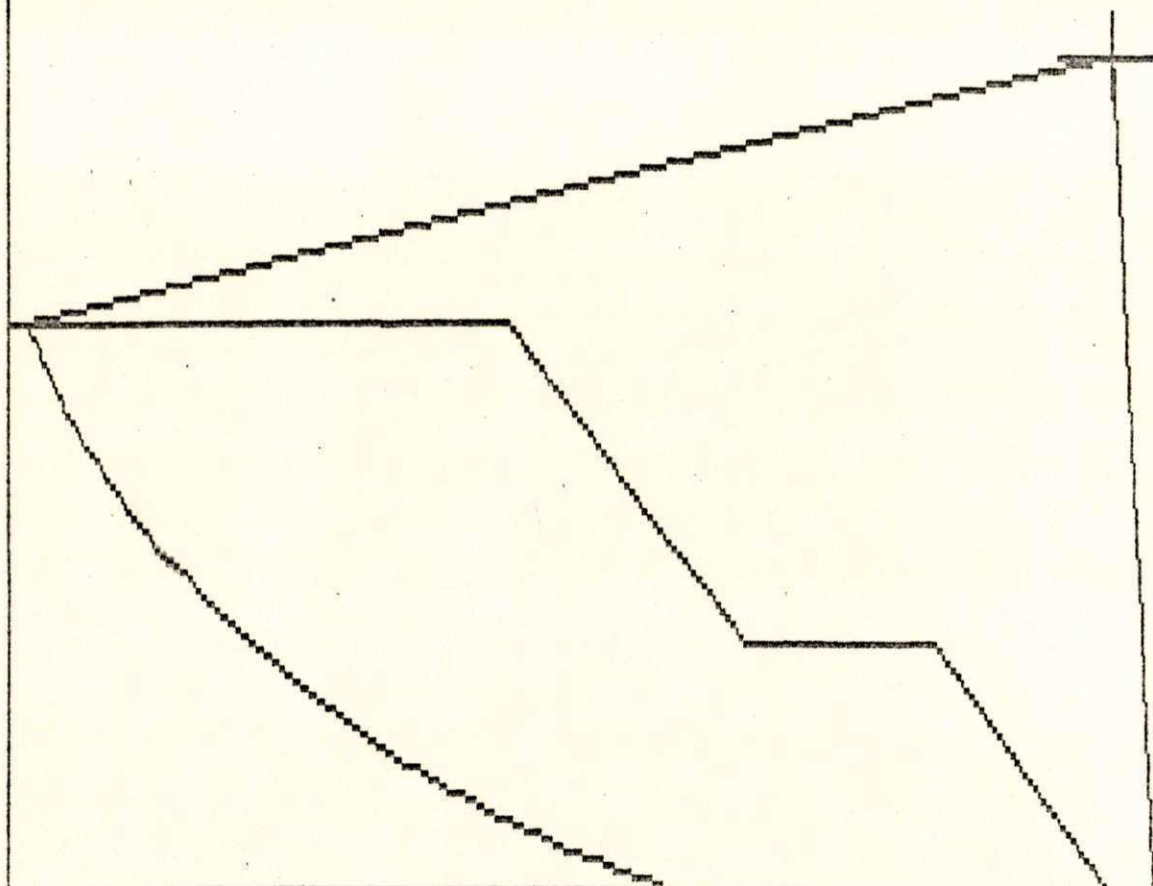


FILENAME : jaqueira.res

BISTAT

Xo= 22.50
Yo= -12.50
R = 42.50
FS= 1.877

FIGURA Nº 17 - Seção Transversal da Encosta Chã da Jaqueira na Umidade Natural e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamento, segundo o Programa Bistat

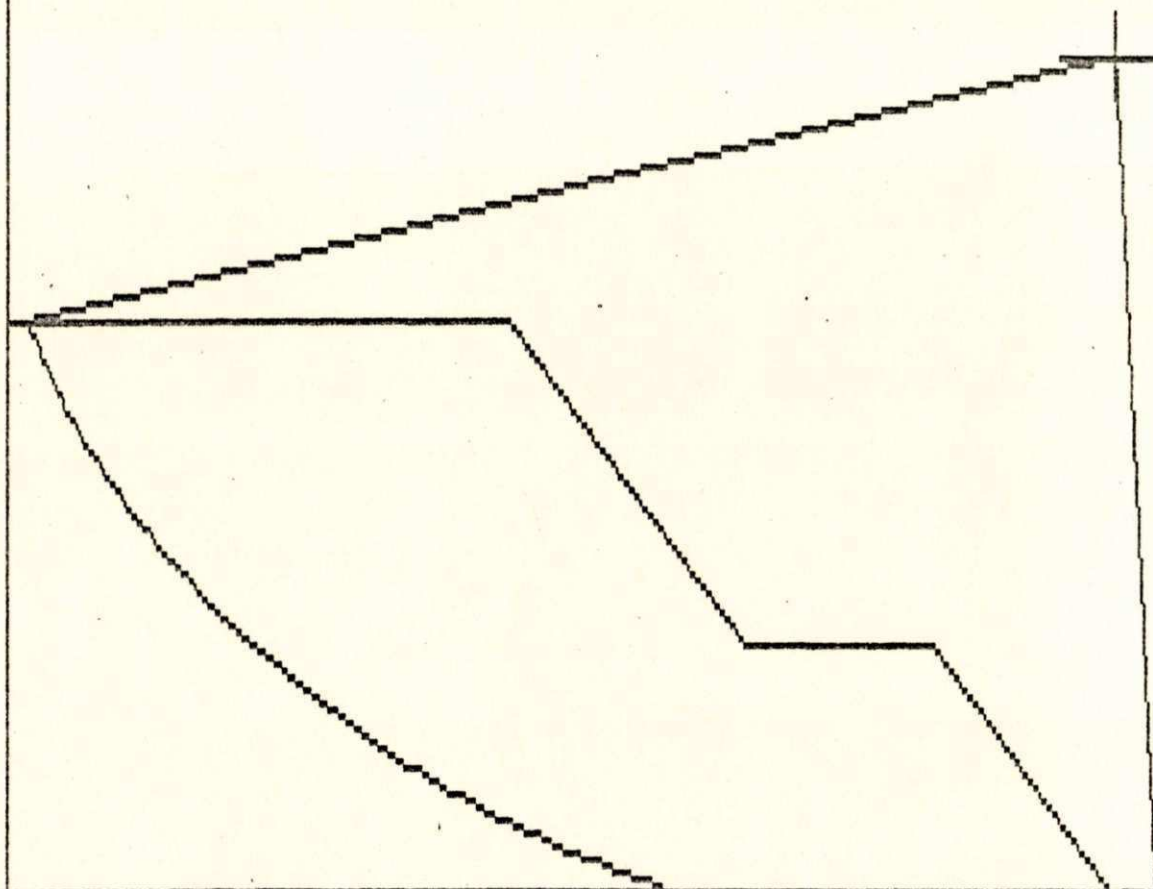


FILENAME : jaqueir2.res

BISTAT

Xo= 22.50
Yo= -12.50
R = 42.50
FS= 0.533

FIGURA Nº 18 - Seção Transversal da Encosta Chã da Jaqueira, Saturada,
e Características de seu Círculo Crítico de Escorregamen-
to, Segundo o Programa Bistat



CAPÍTULO VIII

8.0 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

1. Com relação à coleta de amostras indeformadas:

- as amostras foram coletadas na superfície da encosta. Este fato dificultou a moldagem das amostras, uma vez que observou-se grande quantidade de microfraturas e presença de raízes, obrigando a reduzir quantitativamente as amostras, através de sucessivos expurgos.

2. Com relação à metodologia dos ensaios:

- existiu coerência entre a metodologia adotada e os objetivos da pesquisa, no entanto concluiu-se que maior representatividade e confiabilidade dos ensaios triaxiais podem ser obtidos moldando-se amostras de maiores dimensões.

3. Com relação às propriedades das encostas:

- os solos apresentam estratificações sub-horizontais.
- as estratificações apresentadas por estas encostas, possuem inclinações muito suaves, da ordem de cinco a dez graus, o que faz concluir que estas inclinações não contribuem para a ruptura;
- os solos das encostas constituem-se de areias finas de baixa permeabilidade e baixa plasticidade. São mineralogicamente constituídos de quartzo, caulinita e traços de illita;

4. Com relação à estabilidade das encostas:

- apresentam elevada resistência à ruptura quando na umidade natural, no entanto seus parâmetros de resistência decrescem intensamente com o incremento de umidade até a saturação, quando, neste caso, a análise da estabilidade mostrou que as encostas são instáveis;
- o processamento computadorizado para análise da estabilidade mostra que, quando as encostas são submetidas ao processo de saturação através de chuvas de longa duração, a ruptura é inevitável;

5. Com relação à contenção das encostas de Maceió:

- fica evidenciada a necessidade de adotar-se soluções de engenharia que minimizem a ação danosa das chuvas de longa duração, evitando-se possíveis catástrofes. Conclui-se, por fim, que existe necessidade de ações complementares a esta pesquisa e que venham a conter as encostas pesquisadas.

CAPÍTULO IX

9.0 RECOMENDAÇÕES

É mister frisar que o presente trabalho de pesquisa não pretendeu, e nem poderia pretender, ser instrumento bastante e suficiente para estudar as encostas naturais objeto desta Dissertação de Mestrado. É um trabalho inicial e, por conseguinte, tem como mérito maior a identificação dos parâmetros geotécnicos e suas interações com o meio físico analisado para, daí, recomendar a adoção de novas pesquisas complementares bem como de política governamental auxiliar para a consecução das medidas estabilizadoras das encostas em apreço. Abaixo algumas recomendações aqui entendidas como indispensáveis:

- I) No caso de novas coletas para novos estudos de estabilidade em encostas da mesma natureza, recomenda-se que sua coleta seja realizada através de poços escavados com este objetivo específico.

II) Adoção de política disciplinadora do uso e ocupação do solo, principalmente no que concerne à ocupação e a exploração das encostas;

III) Instrumentar a encosta Mutange no sentido de conhecer-se a magnitude das vibrações provocadas pelo comboio ferroviário que trafega diariamente ao longo da sua base;

IV) Complementação do Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió, enfatizando cartograficamente os riscos naturais, conforme Rocha (1986), Deaillot et alii (1987), Delmas et alii (1987), Pouget et alii (1987) e Ribes (1987);

V) Cadastrar e mapear as áreas de riscos, analisar cada tipo específico de risco identificando soluções que possam servir de instrumento técnico para decisões político-governamentais.

VI) Qualificar e quantificar as argilas moles existentes ao longo do pé das encostas com caimento para a planície lagunar.

CAPITULO X

10.0 - BIBLIOGRAFIA

ANDRADE FILHO, Sinval A. de., 1988. Estudo da Estabilidade da Encosta Próxima à Torre Esquerda da Igreja do Carmo - Olinda Pe. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro-PUC. Rio de Janeiro. 197p.

ANJOS, Carlos Alberto M. dos., 1974, Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Região SW de Feira de Santana-Ba. Relatório de Graduação em Geologia. UFPe. Recife. 160p.

ANJOS, Carlos Alberto M. dos., 1982. Aspectos Geotécnicos da Região SW de Feira de Santana-Ba. UFAl. Scientia ad Sapientiam. Maceió. Vol.10. pp14-16.

ANJOS, Carlos Alberto M. dos e NOBREGA, João Batista da., 1989. Estabilidade de Taludes - Uma abordagem Analítica. Seminário apresentado no curso de Mestrado em Geotecnia. UFPb. Campus II. 68p.

ANJOS, Carlos Alberto M. dos., 1991. Considerações Sobre as Vulnerabilidades aos Deslizamentos Urbanos na Cidade de Maceió-Al. UFAL. Revista de Geociencias Ng 04. p. 5 a 12.

BISHOP, Alan W. and HENKEL, D. J., 1972. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Edward Arnold. London. 227p.

BISHOP, Alan W., 1955. The Use of The Slip Circle in The Stability Analysis of Slopes. Géotechnique. Volume 5, n^o 1. pp 7-17.

BOWLES, Joseph E., 1986. Engineering Properties of Soils and their Measurement. 3^a Edição. McGraw Hill Book Co. 218p.

CARVALHO FILHO, Amaro M. de; WANDERLEY, Perilo Rostan de M.; e ANJOS, Carlos Alberto M. dos., 1987. Projeto Mapa Geotécnico da Cidade de Maceió. 1^a Etapa. Mapas: Geológico, Geomorfológico, Declividade, Geotécnico, e Mapa Preliminar de Uso e Ocupação do Solo. Escala 1:10.000. FINEP/FUNDEPS/UFAL. Maceió. 63p.

CAVALCANTE, A. T. et alii., 1975. Contribuição ao Conhecimento do Aquífero Terciário Barreiras-Marituba na área de Maceió-Al. Atas do VII Simpósio de Geologia. Fortaleza. pp275-288.

DEAILLOT, Philippe et GARRY, Gerald, 1987. La Representation Cartographique des Risques Naturels. Bulletin de Liason des Laboratórios des Ponts et Chaussées. n 150-151. Juil-Agût/Sept-Oct pp 20-28.

DELMAS, Philippe, CARTIER, Gilles e POUGET, Pierre., 1987. Méthodes d'Analyse des Risques Liés aux Glissements de Terrain. Bulletin de Liaisons des Laboratoires des Ponts e Chaussées. Os Riques Naturels. N 150-151. pp 29-38.

DNPM/PETROBRÁS, 1975. Mapa Geológico da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas. Folha Maceió. Escala 1:50.000.

DNPM/SUDENE/EDRN-AL, 1986. Mapa Geológico do Estado de Alagoas. Escala 1:250.000.

DUCAN, J. M., 1977. Undrained Strength and Pore-Water Pressures in Anisotropic Clays. Proceedings of the Fifth Australia-New Zealand Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering. New Zealand. pp 68-71.

GARIGLIO, Maria Auxiliadora, 1987. Utilização de Revestimento Vegetal na Proteção Contra a Erosão. Artigo Técnico n 13 Associação Brasileira de Geologia de Engenharia-ABGE. 72p. São Paulo.

GEOTENNICA S.A. (1983). Relatório de Estudos Hidrológicos - Barragem Rio dos Remédios - Estudos Básicos e Anteprojeto - Volume I - CODEAL

GUIDICINI, Guido e NIEBLE, Carlos M., 1976. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Editora Edgard Blucher Ltda. Editora da Universidade de São Paulo. 170p. São Paulo.

GUSMÃO FILHO, Jaime et alii, 1982. Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Anais. vol 1. Tema: Movimento de Encostas. pp.75-79. Olinda/Recife.

GUSMÃO FILHO, Jaime de Azevedo, JUCÁ, José Fernando T. e SILVA, José Maria Justino da., 1986. Mecanismos dos Movimentos dos Morros de Olinda. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Porto Alegre. pp 135-149.

GUSMÃO FILHO, Jaime de Azevedo; SILVA, José Maria Justino da; JUCÁ, José Fernando Thomé e FERREIRA, Sílvio R. de M., 1986. Parâmetros Geomecânicos dos Solos do Morro de Olinda. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Porto Alegre. pp 199-210.

HUNT, R. E. e SANTIAGO W. B., 1976. A Função Crítica do Engenheiro Geólogo em estudos de implantação de Ferrovias. 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. pp 79 a 98. Rio de Janeiro.

IBGE, 1959. Enciclopédia dos Municípios Brasileiros. Vol 19. Rio de Janeiro.

JARDINE, R.J. et alii., 1985. The Measurement of Soil Stiffness in the triaxial Apparatus. Geotechnique. The Institution of Civil Engineers London. pp 378-382. Vol 35. n^o 3. London.

LAINZ, Victor e AMARAL, Sergio Estanislau do., 1985. Geologia Geral. 9ª Edição. São Paulo. 397p.

LAMEGO, A. R., 1944. O Desabamento do Morro do Faról em Maceió-Al. Divisão de Geologia e Mineralogia. Notas Preliminares e Estudos n^o 24.

LOPES, J. A. U., 1976. O Papel da Geologia em Projetos Finais de Engenharia. 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Sociedade Brasileira de Geologia de Engenharia. pp 385-398. Rio de Janeiro.

MABESDONE, J. M. et alii, 1972. Estratigrafia e Origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geociências. vol 02. n^o 3. pp 173-188. São Paulo.

MARINHO, Reinaldo Lins., 1976. Estudo da Variabilidade Estatística de Ensaios de Classificação de Solos. Tese de Mestrado à UFPb. Campina Grande. 129p.

PINTO, Salomao, 1972. Ensaio de Permeabilidade em Amostra de Solo. DNER. 34p.

POUGET, Pierre et alii, 1987. Méthodes d'Analyse des Risques Liés aux Glissements de Terrain. Bulletin de Liason des Laboratoires des Ponts et Chaussées. n^o 151. pp 29-38. Juil-Août/Sept-Oct.

POULOS, Steve J. et alii, 1985. Liquefaction Evaluation Procedure. Journal of Geotechnical Engineering. American Society Civil Engineers. vol 111. n^o 06. pp 1380-1381.

POULOS, Steve J. et alii, 1985. Liquefaction Resistance of Thickened Tailings. Journal of Geotechnical Engineering. American Society Civil Engineers. vol 111. n^o 12. pp 1380-1394.

PRANDINI, Fernando Luiz et alii, 1976. Atuação da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Encostas: Uma Resenha Crítica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT. Publicação 1074. 22p. São Paulo.

RIBES, Gerard Champetier, 1987. La Cartographie des Mouvements de Terrain. Des ZERMOS aux PER. Bulletin de Liason des Laboratoires des Ponts et Chaussées. n^o 150-151. pp 09-19. Jui-Août/Sept-Oct.

ROCHA, Euler Magalhães da., 1986. O Problema de Encostas em Áreas Urbanas. Anais do VIII Congresso de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Porto Alegre. pp 125-134.

SALDANHA, Luiz A. R. et alii, 1975. Grupo Barreiras. Contribuição ao seu Conhecimento no Estado de Alagoas. Sociedade Brasileira de Geologia. Atas do VII Simpósio de Geologia. pp 113-119. Fortaleza.

SANTOS A. R., 1976. Por Menos Ensaios e Instrumentações e por uma Maior Observação da Natureza. 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Sociedade Brasileira de Geologia de Engenharia. pp117 a 187. Rio de Janeiro

SOUZA, João Luiz Rodrigues de., 1980. Análise da Estabilidade de Taludes - Princípios Básicos, Alguns Métodos e Exemplos. Dissertação de Mestrado à Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande. 123p.

SOUZA SANTOS, Pérsio de., 1975. Tecnologia de Argilas. Ed. da Universidade de São Paulo. Volume 1. 340 p. São Paulo.

SILVEIRA, Luiz Carlos Sampaio da., 1987. Uso do Cone de Penetração para a Determinação do Limite de Liquidez Através de um Ponto. Anais da 22^a Reunião Anual de Pavimentação. Maceió. pp. 228-239.

WANDERLEY, Perillo Rostan de M.; LIMA SANTOS, Rochana C. de A.;
FERREIRA NETO, José Vicente; ARADJO, Paulo Roberto C. de;
FIGUEIREDO LIMA, Carlos Antonio de S.; e ROCHA; Digerson V.
(1988). Estudo Hidrogeológico Preliminar da Área do Pólo
Clorquímico de Alagoas. - Monografia Apresentada ao curso de
Especialização em Aproveitamento de Recursos Hídricos. UFAl 81p.