

MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES

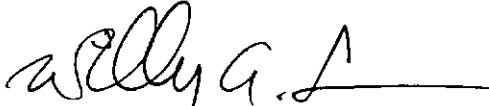
NATURAIS DAS FORMAÇÕES EXPANSIVAS DA BACIA

SEDIMENTAR DO RECONCAVO BAIANO

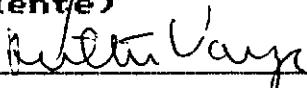
Paulo Roberto Matos Simões

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS - GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL (D.Sc.).

Aprovada por :



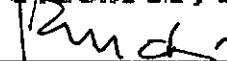
Prof. Willy Alvarenga Lacerda Ph. D  
(Presidente)



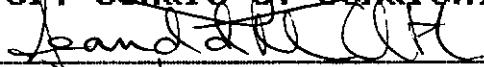
Prof. Milton Vargas, Catedrático, USP.



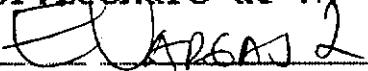
Prof. Hernani S. Sobral, Catedrático, UFBA.



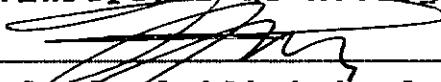
Prof. Sandro S. Sandroni, Ph.D



Prof. Leandro de M. costa Filho, Ph.D



Prof. Eurípedes do A. Vargas Junior, Ph.D



Prof. Guido Guidicini, Geol.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 1991

SIMÕES , PAULO ROBERTO MATOS

Mecanismos de Instabilização dos Taludes  
Naturais das Formações Expansivas da Bacia  
Sedimentar do Recôncavo Baiano [Rio de Janeiro]  
1991.

XVIII, 277 p., 29, 7 cm (COPPE /UFRJ, D. Sc,  
Engenharia Civil, 1991).

Tese - Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

I. Instabilização de Taludes Naturais  
I. COPPE / UFRJ II Título (série)

. Telinha e Telinho vocês são lindos

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todas as pessoas, Instituições e Empresas que contribuiram para a realização dessa tese, não podendo deixar de citar os seguintes nomes.

- . Prof. Willy Alvarenga Lacerda, orientador e amigo, cujos conselhos, estímulos e discussões, foram fundamentais para a conclusão desse trabalho.
- . CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia, pelo apoio integral em todas as etapas da tese.
- . DESENVALE, CODEBA e COPEC, órgãos governamentais que encararam a problemática dos materiais expansivos com bastante seriedade, possibilitando que uma parte dos estudos aqui apresentados fosse desenvolvida em suas respectivas obras.
- . CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT, representada pelo Engº. Marco Antonio Dacach Leite, pelo empréstimo do computador, de grande utilidade nas análises de estabilidade.
- . Geól. Isaías de Almeida Lima Neto pela cooperação constante nas inúmeras viagens de campo, na discussão dos aspectos geológicos e pela coordenação da equipe de campo responsável pelas investigações geológicas-geotécnicas.
- . Geól. Gilberto Nunes Leal pelo apoio, discussão e

revisão do texto.

- . Engº. José Henrique Feitosa, Jorge Chagas e Sonia Margarida, pelo apoio na implantação dos programas computacionais.
- . Pedro Tavares, Adernael, Tozélio, Fernando, Jorge Luis, Jorge Buisine e Valter, técnicos do CEPED responsáveis pelos trabalhos geotécnicos de campo.
- . Antonio Cardoso, Rui e Jessé, laboratoristas do CEPED responsáveis pela realização dos ensaios de laboratório.
- . Rosa, Nice e Carlos Eduardo pela participação na digitação do texto da tese.
- . Roque Fiuza pela digitação do texto final da tese.
- . Graça e Divaldo pela execução dos desenhos.
- . Colegas do CEPED e da COPPE pelo apoio e incentivo constante.

Resumo da Tese apresentada à COPPE / UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Doutor em Ciências ( D. Sc.).

MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES NATURAIS DAS FORMAÇÕES EXPANSIVAS DA BACIA SEDIMENTAR DO RECÔNCAVO BAIANO.

Paulo Roberto Matos Simões

Março de 1991

Orientador: Prof. Willy Alvarenga Lacerda

Programa : Engenharia Civil.

Na Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano são encontradas as maiores e mais importantes ocorrências de materiais expansivos do Brasil, pertencentes às formações geológicas que compõem os Grupos Brotas, Santo Amaro, Ilhas e Massacará. As principais rochas são folhelhos, argilitos, calcáreos, siltitos e arenitos, merecendo ênfase especial os folhelhos e os arenitos devido a predominância.

A intemperização das rochas dos três primeiros Grupos, dá origem a mantos de solos argilosos, altamente plásticos e expansivos, conhecidos regionalmente como massapês e a mantos de solos granulares (areias siltosas e siltes arenosos). A formação S.Sebastião (Grupo Massacará) é constituída basicamente de mantos espessos, pouco consolidados, de sedimentos granulares (areias siltosas)

com intercalações de camadas de sedimentos argilosos expansivos, também denominados de massapês.

A localização da Bacia é estratégica do ponto de vista econômico, principalmente devido a sua proximidade com Salvador, por abranger a região de extensiva exploração de petróleo e finalmente por se constituir na área que abriga os parques industriais do COPEC (Complexo Petroquímico de Camaçari) e do CIA (Centro Industrial de Aratú), além de dezenas de municípios.

Sérios problemas técnicos são encontrados na implantação de obras de engenharia nesta região, devido ao comportamento peculiar desses materiais, que em presença da água, sofrem queda brusca de resistência ao cisalhamento e elevadas expansões, altamente prejudiciais às construções.

A instabilização das encostas naturais e principalmente os deslizamentos dos taludes de cortes executados pelo homem, ocorrem com bastante frequência nos períodos de chuvas intensas, constituindo-se em um grande desafio a ser enfrentado pela engenharia.

Este trabalho tem como principal objetivo, explicar a fenomenologia envolvida no processo de instabilização desses taludes naturais da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano.

Os aspectos geológicos e estruturais da Bacia, os perfis de intemperismo dos taludes, a escolha dos parâmetros de

resistência a serem usados nas análises e as hipóteses de pressões de água dentro dos maciços devido as infiltrações durante os períodos de chuvas intensas, se constituíram em fatores muito importantes para o entendimento do problema.

O trabalho foi elaborado com base nos seguintes elementos: extensiva revisão bibliográfica sobre o assunto; observações e experiência do autor, que trabalhou durante os últimos dezessete anos nas principais obras implantadas nessa região; investigações geológicas-geotécnicas de diversos taludes deslizados; desenvolvimento de um plano detalhado de ensaios de laboratório e de campo e na análise dos registros de diversos taludes instrumentados.

Foram retro-analisados cerca de quarenta taludes, utilizando-se os Métodos de Sarma e Morgenstern-Price, através de programas desenvolvidos para micro-computadores. Nas retro-análises, verificou-se principalmente a variação do fator de segurança em função das pressões neutras desenvolvidas dentro dos taludes, devido as infiltrações efetivas das águas das precipitações pluviométricas.

É proposto pelo autor, um sistema de classificação para os mecanismos de instabilização dos principais tipos de taludes naturais identificados na Bacia Sedimentar do Recôncavo. Este sistema foi testado e demonstrou ser eficiente, cobrindo os casos históricos analisados.

Esses estudos, embora desenvolvidos para a Bacia Sedimentar do Recôncavo, podem ser utilizados, como uma ferramenta extremamente útil, na elaboração de projetos racionais de estabilização de taludes, envolvendo solos e rochas expansivas.

Abstract of Thesis presented to COPPE / UFRJ as partial fulfillment of requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.).

DESTABILIZATION MECHANISMS OF NATURAL SLOPES IN SWELLING FORMATIONS OF SEDIMENTARY BASIN OF "RECÔNCAVO BAIANO".

Paulo Roberto Matos Simões

Marco, 1991

Thesis Supervisor: Prof. Willy Alvarenga Lacerda

Department : Civil Engineering

In the Sedimentary Basin of the "Recôncavo Baiano", are found the best and most important swelling geological formations of Brazil, belonging to the Brotas, Santo Amaro, Ilhas and Massacará Groups. The main rocks are shale, limestone, marl, mudstone and sandstone. The shale and sandstone are found in greater quantity all over the area.

The weathering process acting on these sedimentary rocks, form strata of highly plastic and swelling clay soils, called "massapês" and strata of granular soils (silty sand and sandy silt), that are found in different forms in the sub-soil profile of the slopes. The S. Sebastião formation (Massacará Group) which was deposited over the other formations, did not undergo hard process of over-consolidation. Basically it is formed of granular soils with thin strata of clay soils, also called "massapês".

The Basin's location is very economically important, because it is close to Salvador and is the region of oil exploration by PETROBRÁS, as well as the chosen area for the instalation of the COPEC and CIA industrial parks.

Various technical problems are encountered by civil engineering, relative to building in such regions, due the behavior of these materials, that in contact with water, undergo a substantial shear strength decrease and high swellings, very damaging to constructions.

The destabilization of natural slopes and mainly the landslides of the man-made cut slopes, occur frequently in periods of intense rainfall, being the most dificult problem to be solved by geotechnical engineering in this region.

The main objective of this thesis is to explain the phenomenology involved in the natural slope destabilization process in the Basin Sedimentary of "Recôncavo Baiano".

The Basin's formation, the geological and climatic aspects, the weathering slope profiles, the selection of the shear strength parameters to be used in the analyses and the assumed pore pressures developed in the slopes, due to infiltration during intense rainy periods, were very importants factors in the comprehension of the problem.

The studies were based on the follows aspects: extensive

bibliographical review of this matter; remarks and experience of the author, who worked the last seventeen years in the construction of the main jobs in this region; geological and geotechnical investigations of several landslides; laboratory and field tests and in the behavior of instrumented slopes.

About forty slopes were back-analysed, using the Methods of Sarma and Morgenstern - Price, developed in the form of micro-computer programs. The correlation was studied between factors of safety of slopes and pore pressure changes, caused by water infiltration during intense rainy periods.

A classification system was proposed by the author, for the destabilization mechanisms of the main types of natural slopes identified in the Sedimentary Basin. This system was tested and proved to be efficient, covering the case histories analysed.

The results of these studies can be used, as an extremely useful tool, in elaboration of rational slope stabilization designs, involving swelling soils and rocks.

## ÍNDICE

FICHA CATALOGRÁFICA	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
LISTA DE SIGLAS	xviii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	i
CAPÍTULO II - ORIGEM, FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DA BACIA SEDIMENTAR DO RECÔNCAVO BAIANO	8
CAPÍTULO III- PRINCIPAIS ASPECTOS NATURAIS INFLUENTES NOS MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES	19
III.1- GEOLOGIA	21
III.1.1 - Litologia e Estratigrafia	21
III.1.2 - Geomorfologia	35
III.1.3 - Feições Geológicas	38
III.1.4 - Hidrogeologia	47
III.2- CLIMA	51
III.2.1 - Efeitos da Água nos Taludes	52
III.2.2 - Zoneamento Climático	55
III.2.3 - Pluviometria	56
III.2.4 - Temperatura	66
III.2.5 - Evaporação	66
III.2.6 - Nebulosidade	67
III.2.7 - Direção e Velocidade dos Ventos	67
III.2.8 - Umidade Relativa	68
III.2.9 - Insolação	68

III.3- VEGETAÇÃO	68
CAPÍTULO IV - PERFIS TÍPICOS DE INTEMPERISMO DOS TALUDES	82
IV.1 - HORIZONTES DE INTEMPERISMO	82
IV.1.1 - Horizonte IA	83
IV.1.2 - Horizonte IB	83
IV.1.3 - Horizonte IC	84
IV.1.4 - Horizonte II	85
IV.1.5 - Horizonte III	86
IV.1.6 - Colúvios	87
IV.2 - PRINCIPAIS PERFIS DE INTEMPERISMO	89
IV.2.1 - Perfis Típicos dos Taludes das Formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas	89
IV.2.2 - Perfis Típicos dos Taludes das Formações do Grupo Brotas	91
IV.2.3 - Perfis Típicos dos Taludes da Formação S. Sebastião	91
CAPÍTULO V - CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DOS HORIZONTES DE INTEMPERISMO DOS TALUDES	101
V.1 - CARACTERIZAÇÃO	103
V.2 - ANÁLISES QUÍMICAS	105
V.3 - ANÁLISES MINERALÓGICAS	106
V.4 - PERFIS PEDOGENÉTICOS	108
V.5 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	109
V.5.1 - Considerações Gerais	109
V.5.2 - Ensaios de Cisalhamento dos Materiais da Bacia Sedimentar	113
V.6 - ADENSAMENTO	120
V.7 - PERMEABILIDADE	121
V.8 - RETRAÇÃO, EXPANSÃO E PRESSÃO DE EXPANSÃO	122

V.9 - PERFIS DE UMIDADE	127
V.10 - SUCCÃO	128
V.11 - ANÁLISES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DAS ARGILAS DE PREENCHIMENTO DAS FRATURAS DOS FOLHELHOS	131
V.12 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DO SUB-SOLO	131
<b>CAPÍTULO VI - MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES</b>	<b>172</b>
VI.1 - GRUPO S - DESLIZAMENTOS EM SOLOS	176
VI.1.1 - Sub-Grupo S <sub>1</sub> - Deslizamentos em Camadas Pouco Espessas de Massapê Assentadas em Horizontes Mais Permeáveis	176
VI.1.2 - Sub-Grupo S <sub>2</sub> - Deslizamentos em Camadas Espessas de Massapê com N.A. Profundo	188
VI.1.3 - Sub-Grupo S <sub>3</sub> - Deslizamentos em Camadas de Massapê com N.A. Pouco Profundo	192
VI.1.4 - Sub-Grupo S <sub>4</sub> - Deslizamentos de Camadas de Colúvios Assentadas em Horizontes Menos Permeáveis	194
VI.1.5 - Sub-Grupo S <sub>5</sub> - Deslizamentos de Camadas de Solo Granular Assentadas em Horizontes Menos Permeáveis	201
VI.1.6 - Sub-Grupo S <sub>6</sub> - Deslizamentos em Maciços Constituídos de Solos Granulares com Intercalações de Camadas de Massapê	206
VI.2 - GRUPO R - DESLIZAMENTOS EM ROCHAS	210
VI.2.1 - Sub-Grupo R <sub>1</sub> - Deslizamentos Estruturados em Rochas	213
VI.2.2 -Sub-Grupo R <sub>2</sub> - Deslizamentos de Horizontes de Transição Assentados em Horizontes Menos Permeáveis	221
VI.2.3 - Sub-Grupo R <sub>3</sub> - Desagregação Superficial de Rochas Argilosas e Queda de Lajes de Arenito e Siltito	224

CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES	243
SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	257
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	258

**LISTA DE SÍMBOLOS**

<b>b</b>	- espessura do manto de colúvio
<b>B</b>	- largura da cunha de ruptura
<b>c</b>	- coesão total
<b>c'</b>	- coesão efetiva
<b>c'<sub>r</sub></b>	- coesão efetiva residual
<b>CD</b>	- ensaio adensado drenado
<b>Cu</b>	- coef. de forma do ensaio de permeabilidade
<b>CU</b>	- ensaio adensado não drenado com medida de pressão neutra
<b>e</b>	- índice de vazios
<b>e<sub>v</sub></b>	- deformação vertical específica
<b>F.S</b>	- fator de segurança
<b>G</b>	- peso específico real dos grãos
<b>hw</b>	- altura piezométrica
<b>hw<sub>crit.</sub></b>	- altura piezométrica crítica
<b>I<sub>p</sub></b>	- índice de plasticidade
<b>H</b>	- altura do talude
<b>H<sub>L</sub></b>	- altura da lâmina d'água no ensaio de permeabilidade
<b>H<sub>w</sub></b>	- altura do lençol freático
<b>K</b>	- coef. de permeabilidade
<b>K<sub>i</sub></b>	- rel. molecular sílica / alumínio
<b>K<sub>r</sub></b>	- rel. molecular sílica / sesquióxidos
<b>K<sub>20</sub></b>	- coef. de permeabilidade à 20° C
<b>L</b>	- comprimento da cunha de ruptura
<b>N.A.</b>	- nível d'água estático do sub-solo
<b>OCR</b>	- grau de pré-adensamento

p'	- pressão de pré-adensamento
R	- raio
s	- inclinação da superfície de contato
Si	- grau de saturação inicial
t	- inclinação do talude
Ua	- pressão neutra do ar
(Ua-Uw)	- succção
Uw	- pressão neutra da água
V	- volume
w	- umidade natural
wi	- umidade inicial
wL	- limite de liquidez
wp	- limite de plasticidade
ws	- limite de contração
θ'	- ângulo efetivo de atrito
θr	- ângulo efetivo de atrito residual
θ <sup>b</sup>	- ângulo que incrementa a resistência ao cisalhamento com a succção

**LISTA DE SIGLAS**

<b>ABNT</b>	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>CEPED</b>	- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
<b>CEPLAC</b>	- Comissão Executiva Plano Lavoura Cacaueira
<b>CIA</b>	- Centro Industrial de Aratú
<b>CODEBA</b>	- Companhia das Docas do Estado da Bahia
<b>COPEC</b>	- Complexo Petroquímico de Camaçari
<b>COPPE</b>	- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia
<b>DESENVALE</b>	- Companhia de Desenvolvimento do Vale do Paraguacú
<b>EPABA</b>	- Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia
<b>INM</b>	- Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IPT</b>	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo
<b>ISRM</b>	- International Society of Rock Mechanic
<b>PETROBRÁS</b>	- Petróleo Brasileiro S/A
<b>SUDENE</b>	- Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
<b>UFBA</b>	- Universidade Federal da Bahia
<b>USBR</b>	- United States Bureau of Reclamation

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

As principais formações expansivas ocorrentes no Brasil são integrantes das Bacias Sedimentares do Recôncavo Baiano, do Paraná e do Rio Grande do Sul. Dentre as mais conhecidas e importantes pelas suas características, estão as formações pertencentes aos Grupos Brotas, Santo Amaro, Ilhas e Massacará, na Bahia, Morro Pelado em Santa Catarina e Rosário do Sul e Estrada Nova, no Rio Grande do Sul.

De acordo com os estudos desenvolvidos por SOUZA SANTOS e SANTINI (1969), utilizando dados do IPT/São Paulo, é registrada a presença de argilas expansivas em todo o Brasil, espalhadas em regiões específicas de vários Estados, dentre eles: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Ceará, Piauí e Amazonas. Estas argilas são pedologicamente denominadas de vertissolos, podendo-se encontrar nos mapas elaborados pela EMBRAPA uma razoável indicação da localização desses solos.

As rochas expansivas predominantes na Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano são folhelhos, argilitos, calcáreos e alguns siltitos, merecendo ênfase especial os folhelhos. O pacote sedimentar acha-se encravado no Embasamento Cristalino que circunda a Bacia, através de duas grandes falhas sub-paralelas, conhecidas como falha de Salvador, à leste, e falha de Maragogipe, à oeste.

A área aproximada da Bacia é de 9.800 km<sup>2</sup>, apresentando uma grande expressão geográfica, limitada ao norte pelos municípios de Alagoinhas e Feira de Santana; a oeste por Muritiba, Maragogipe e Nazaré; ao sul por Valença, Nilo Peçanha e Camamú; e à leste pelo Oceano Atlântico, conforme mapa de localização mostrado na Figura I.1.

A sua localização é estratégica, se revestindo de muita importância devido ao fato de estar próxima à Salvador, abranger a região de extensiva exploração de petróleo na Bahia, ser a zona onde estão implantados os parques industriais do COPEC e do CIA, assim como a área onde dezenas de municípios estão situados, dentre eles: Camaçari, Santo Amaro, São Francisco do Conde, São Sebastião, Candeias, Mataripe, etc...

Os problemas oriundos das condições geotécnicas adversas desses materiais podem ser já detectados dentro do perímetro urbano de Salvador, principalmente nos bairros de Bomfim e Ribeira, nos subúrbios de Plataforma, Lobato, Periperi e Paripe e nas ilhas da Baía de Todos os Santos, como Itaparica, Madre Deus, etc.

Sérios problemas são sistematicamente enfrentados na construção de obras nesta região, merecendo destaque as mais recentes, podendo-se citar a duplicação da BR-324, ligando Salvador a Feira de Santana; a Rodovia Canal de Tráfego, ligando o Pólo Petroquímico de Camaçari (COPEC) ao Porto de Aratú; o parque de tanques, os

terminais e as vias internas e de acesso ao Porto de Aratú; as instalações do Centro Industrial de Aratú (CIA) e do Pólo Petroquímico de Camaçari (COPEC), envolvendo dezenas de indústrias, vários quilômetros de estradas pavimentadas e obras de contenção; e, por fim, a Adutora Pedra do Cavalo, para abastecimento d'água de Salvador.

O grande surto de desenvolvimento previsto para esta região, reforça ainda mais a necessidade de um conhecimento técnico-científico mais profundo sobre o comportamento destes materiais, cujo desconhecimento provocará mais uma vez reflexos inevitáveis nos custos e cronogramas das obras.

Estes materiais caracterizam-se por um comportamento extremamente singular quando em contato com a água, provocando principalmente nos solos, redução substancial de resistência e manifestação de elevadas expansões, altamente prejudiciais às construções. Os estudos pioneiros sobre o comportamento desses solos foram desenvolvidos por SOBRAL (1956).

Os insucessos registrados na implantação de obras nestas formações são atribuídos principalmente ao fato de não serem convenientemente levadas em consideração nos projetos, a complexidade geológica-estrutural da Bacia e as peculiaridades do comportamento geotécnico desses materiais, aliadas aos efeitos causados pelas águas provenientes principalmente das precipitações pluviométricas.

De acordo com SIMÕES (1986a), dentre os danos usuais detectados nessas obras, podem ser citados os seguintes: desenvolvimento de trincas e rachaduras nas construções, chegando muitas vezes a comprometer a estabilidade estrutural das mesmas; rupturas de aterros construídos sobre os materiais expansivos; deslizamentos de taludes; danos estruturais nos pavimentos; desabamentos de túneis; deformações e distorções exageradas nos lastros ferroviários; levantamentos diferenciais em tubulações de adutoras; distorções em linhas de transmissão de energia elétrica etc...

A instabilização das encostas naturais e principalmente os deslizamentos em taludes de cortes executados pelo homem, tem-se constituído seguramente no maior desafio enfrentado na região e que maiores prejuízos tem causado. Prova disso foram os inúmeros casos registrados durante as obras da Rodovia Canal de Tráfego, do Porto de Aratú e da Adutora de Pedra do Cavalo. Tornam-se muito importantes também, as rupturas de taludes viários que ocorrem periodicamente ao longo de toda Bacia nos períodos chuvosos.

O conhecimento dos mecanismos de instabilização e dos seus agentes deflagradores, objetivo principal desta tese, é fundamental para o entendimento do fenômeno e posteriormente para adoção das soluções mais adequadas de estabilização desses taludes.

Nesta tese procurou-se desenvolver conhecimentos fundamentais, aplicados e adequados à realidade de uma

região nordestina muito importante, no entanto pouquíssima estudada pelo meio geotécnico brasileiro, possibilitando que à partir daí, possam ser elaborados trabalhos técnicos específicos sobre os assuntos abordados.

Foram condensados os dados geológicos e geotécnicos disponíveis, os estudos, as análises, a experiência e as observações feitas pelo autor, durante sua participação desde 1974 em trabalhos geotécnicos na Bacia Sedimentar.

No texto desse trabalho foram empregados os seguintes termos: deslizamentos - para representar genericamente toda movimentação de massa de solo ou rocha que ocorra principalmente por ruptura ao cisalhamento; taludes naturais - para abranger as encostas naturais e os taludes de cortes executados pelo homem, não incluindo portanto os aterros; horizontes - para se referir as zonas ou faixas de intemperismo do sub-solo.

No Capítulo II são apresentados os aspectos referentes à origem, formação e evolução da Bacia Sedimentar do Recôncavo.

No Capítulo III são descritos os principais fatores geológicos, estruturais, climáticos e a vegetação, que influenciam diretamente os processos de instabilização dos taludes.

No Capítulo IV, os horizontes e os perfis típicos de intemperismo dos taludes, específicos para cada formação geológica, são mostrados e descritos em detalhes.

No Capítulo V são apresentadas e discutidas as principais características e propriedades geotécnicas dos materiais que compõem os referidos horizontes de intemperismo, de interesse para o entendimento dos mecanismos de instabilização e para a análise de estabilidade dos taludes.

No Capítulo VI, com base em diversos casos históricos de rupturas de taludes ocorridos dentro da Bacia Sedimentar, é proposto um sistema de classificação para esses deslizamentos, tentando metodologicamente agrupar os casos similares. Dentro deste sistema de classificação são descritos e retro-analisados exemplos típicos de cada caso, mostrando a sensibilidade específica dos taludes às variações que estariam sujeitos no campo, principalmente com referência às pressões de água.

No Capítulo VII são apresentadas as principais conclusões e recomendações desse trabalho.

E por fim, sugestões para futuras pesquisas e as referências bibliográficas.



Fig. I.1 - Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano

## CAPÍTULO II - ORIGEM, FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DA BACIA SEDIMENTAR DO RECÔNCAVO

No período Jurássico Superior deu-se o rompimento continental que separou a América do Sul da África, iniciando-se assim a formação da fossa tectônica do Recôncavo. Este evento tectônico expressa as grandes deformações disjuntivas resultantes do campo de tensões crustais dominantes nos períodos Jurássico e Cretáceo.

No período Terciário também ocorreram atividades tectônicas, com rupturas menores, limitadas às regiões próximas ao litoral, contribuindo para a evolução do processo de subsidência da Bacia.

No período Quaternário ocorreram apenas ajustamentos finais no processo que originou a Bacia, com registros localizados e pouco expressivos.

Desse conjunto de atividades tectônicas resultaram, dentro da área de interesse do presente trabalho, dois sistemas subparalelos principais de falhamentos normais que delimitam a Bacia Sedimentar do Recôncavo, representados pelas falhas de Salvador e de Maragogipe. A análise da região permite concluir que se formou uma fossa tectônica, denominada de "graben" ou "rift", que afundou por falhamentos, entremeando flancos do Embasamento Cristalino que permaneceram estáveis.

Na Figura II.1 é apresentado o mapa geológico contendo as formações sedimentares da Bacia do Recôncavo.

De acordo com o trabalho de LEAL (1988), que trata de forma bastante abrangente os aspectos geológicos da Bacia Sedimentar, a atividade tectônica exerceu influência marcante sobre a sedimentação da Bacia, podendo-se concluir com base nas análises das unidades estratigráficas, que a Bacia se desenvolveu em três estágios denominados "pré-rift", "rift" e "pós-rift".

No estágio "pré-rift", caracterizado por uma subsidência lenta, foram depositados sobre rochas paleozóicas os sedimentos do Grupo Brotas (formações Aliança e Sergi), num ambiente predominantemente fluvial.

Os folhelhos da formação Aliança tem coloração vermelha, constituindo-se este aspecto na principal característica que identifica estas rochas no campo. A origem dessa pigmentação é atribuída inicialmente à hipótese desses sedimentos terem se originado de solos lateríticos vermelhos, localizados nas bordas da Bacia. Outra hipótese está relacionada ao fato dos sedimentos terem sido depositados em clima úmido, com alternâncias de períodos chuvosos e de estiagem.

A formação Sergi, composta predominantemente de arenitos grosseiros, teve como fonte de material, as rochas granulíticas nos seus diversos estágios de alteração, após todo o solo laterítico ter sido transportado. Estes sedimentos sofreram trabalhoamento erosivo fluvial durante a fase de transporte. A contribuição eólica foi significativa, auxiliando no processo de deposição. As

formações do Grupo Brotas tem como peculiaridade importante, em relação às outras formações que compõem a Bacia Sedimentar, o fato de terem sido depositadas ultrapassando os limites da Bacia.

Ainda neste estágio de "pré-rift" foram depositados sedimentos de algumas formações do Grupo Santo Amaro (formação Itaparica e o membro Tauá da formação Candeias). Os folhelhos dessas formações expressam caracteres do ambiente flúvio-lacustre, com predominância lacustre, causados pelo fechamento da Bacia, representando o final do primeiro estágio.

Segundo relatórios da PETROBRÁS, as grandes feições tectônicas internas da Bacia do Recôncavo já estavam delineadas na época da deposição inicial da formação Itaparica. Os intensos processos tectônicos que a definiram estruturalmente, somente ocorreram após a sedimentação do membro Tauá. Na borda leste, nesta época, o sistema de falhas de Salvador avançou progressivamente, em intensidade do sul para o norte. Em virtude do relevo mais acentuado, a área leste constitue-se na principal fonte de sedimentação da Bacia.

O segundo estágio, denominado "rift", é caracterizado por uma atividade tectônica bem mais acelerada, representada por uma maior velocidade de subsidência do "graben" do Recôncavo. Esta subsidência tipo diferencial e assimétrica, deu origem a três compartimentos estruturais internos na Bacia: uma plataforma relativamente estável,

ocupando a parte norte e oeste; uma faixa em talude, sinuosa e de ângulo elevado, a oeste e por último uma zona hiper subsidente, adjacente ao falhamento de leste a sul, aonde constata-se um maior aprofundamento da Bacia.

Durante o processo de subsidência do bloco central, as tensões internas provocaram a sua divisão num mosaico de blocos. A acomodação incessante desses blocos, procurando atender ao equilíbrio isostático, resultou numa série de deslocamentos verticais e horizontais, dando origem a "grabens", "semi-grabens" e "horts" interpostos.

As sequências sedimentares pré-tectônicas depositadas sobre os blocos foram preservadas, porém em termos estruturais, a reativação tectônica afetou severamente as formações, as quais refletem o sistema de fraturamento e falhamento do bloco pré-cambriano subsidente.

Como resultado do tectonismo a configuração resultante apresenta dois sistemas principais de falhamento dentro da Bacia, um na direção NE-SW e outro na direção NW-SE. As falhas de Maragogipe e Salvador têm direção aproximada NE-SW, com mergulhos que variam de 55° a 80° e rejeitos estimados em 300 e 5000 m respectivamente. No mapa de localização da Figura I.1, as falhas mais importantes foram esquematicamente representadas.

Estudos realizados por RIBEIRO (1984), permitiram o mapeamento de dois grandes falhamentos com deslocamentos horizontais, denominados respectivamente de transcorrências Mata - Catu e Itanagra - Araçás, que

conduziu à divisão da Bacia Sedimentar do Recôncavo em três sub-bacias: Nordeste, Central e Sul.

No "rift", foram depositadas as formações restantes do Grupo Santo Amaro, as formações do Grupo Ilhas, assim como os arenitos grosseiros e os folhelhos da formação São Sebastião, do Grupo Massacará.

O "pós-rift" é caracterizado como um estágio de estabilização cratônica. Os sedimentos da formação Marizal foram depositados horizontalmente sobre os demais, conferindo-lhe um hábito tabular no interior do "craton".

No final do período Terciário ocorreu a deposição da formação Barreiras, a qual denota o soerguimento final e o basculamento geral do continente para leste.

As formações sedimentares da Bacia são geralmente sub-horizontais. As movimentações ocorridas devido ao processo de subsidência, resultou em um quadro estrutural onde geralmente as camadas tendem a mergulhar para leste ou sudeste. Os ângulos de mergulho dos acamamentos são geralmente baixos, atingindo em termos regionais valores médios inferiores a  $10^{\circ}$ . Em locais específicos da Bacia, onde o comportamento estrutural foi modificado devido ao basculamento de grandes blocos, consequência da subsidência diferencial, com inversão de mergulhos, dobramentos, etc..., podem ser encontrados mergulhos com inclinações mais elevadas.

A sequência das formações em profundidade e a distribuição

dos afloramentos, conferem certa complexidade geológica à Bacia. A disposição dessas formações em superfície é de fundamental interesse no estudo dos mecanismos de instabilização dos taludes.

As rochas sedimentares foram formadas à partir do transporte e deposição dos sedimentos provenientes dos mantos de materiais intemperizados das rochas do Embasamento Cristalino, que ocorrem em locais topograficamente elevados nas bordas da Bacia.

As principais rochas do Embasamento que serviram de fonte de sedimentos foram granulitos, gnaisses, migmatitos, anfibolitos e intrusões pegmatíticas e de diabásio. Estas rochas foram submetidas a processos rigorosos de intemperismo físico-químico, que provocaram sua desintegração, como também a decomposição de alguns minerais. As transformações minerais que ocorreram nas rochas do Embasamento se processaram principalmente através de reações químicas de hidratação, hidrólise, carbonatação, oxidação e redução, resultando na formação de montmorilonita, camadas mistas ilita-montmorilonita, ilita e caulinita.

A hidrólise dos feldspatos potássicos dos plagioclásios e anfibólios, constituintes dos granulitos, dá como produto a haloisita e a montmorilonita, sem passar pela etapa intermediária de ilita, consequência, como era de se esperar, da lixiviação rápida do potássio. A predominância da lixiviação progressiva dos elementos

alcalinos e alcalinos terrosos, provoca a dessaturação do meio e a montmorilonita desaparece em proveito da caulinita.

Nos anfibolitos à partir da hidrólise dos plagioclásios e anfibólios, formam-se montmorilonita e caulinita, através da passagem por uma etapa de neoformação indireta do inter-estratificado ilita-montmorilonita.

Em decorrência também desse processo de intemperismo sobre as rochas do Embasamento Cristalino, são abundantes nas rochas granulares da Bacia, minerais mais resistentes, principalmente o quartzo, além de soluções catiônicas ativas, como cálcio, magnésio, sódio e potássio.

Do ponto de vista de transporte, a remoção do material em solução, restringiu-se a ambientes onde o agente de intemperismo e de transporte foi a água. Já o transporte da fração terrígena, embora tenha ocorrido predominantemente em meios aquosos movimentados pela aceleração gravitacional, comportou também casos particulares onde o meio de transporte foi a energia dos ventos, numa faixa aonde predominam os tamanhos silte e areia.

A constituição dos sedimentos da Bacia é o reflexo da composição das rochas que foram erodidas no Embasamento Cristalino e da natureza dos precipitados orgânicos e inorgânicos susceptíveis de se formarem no sítio de deposição. Dependeu também da relação entre o intemperismo na fonte de produção e a deposição na Bacia Sedimentar. Onde as rochas estavam profundamente intemperizadas seus

constituíntes minerais se encontravam mecanicamente desintegrados e quimicamente alterados. Quando a velocidade de erosão foi rápida, então os minerais foram transportados e soterrados antes que ocorresse muita alteração e desintegração. À proporção que o meio de transporte sofria perda de competência para carregá-los, formaram-se ambientes de sedimentação.

As primeiras formações da Bacia foram sedimentadas em ambientes fluviais e lacustres. Com a reativação do processo de subsidência, formaram-se vales profundos, longos e estreitos, que sofreram alagamentos com o ingresso das águas do mar, possibilitando a deposição de novas sequências sedimentares. À seguir são citados os ambientes de deposição de algumas das formações do Recôncavo: formação Itaparica (ambiente lacustre predominantemente profundo e redutor); formações do Grupo Ilhas (ambiente deltaico-lacustre); formação São Sebastião (ambiente fluvial); formação Marizal (leques aluviais).

A acumulação dos sedimentos resultou em eventos deposicionais verticais e laterais, cuja preservação e sucessão repetitiva do processo, gerou o empilhamento formando assim a seção sedimentar da Bacia do Recôncavo.

O grau de subsidência da Bacia se constituiu em um dos principais fatores de preservação dos sedimentos depositados. Com a subsidência gradual, o nível de base da Bacia pode ser mantido e o empilhamento vertical dos sedimentos ocorreu. Para que a subsidência se mantivesse,

o aporte de sedimentos deve ter sido igual ou maior que a quantidade necessária para simplesmente estabelecer um perfil de equilíbrio. A deposição se deu de tal ordem, que os sedimentos se acumulavam até o nível de gradação máximo, além do qual foi erodido e passou a fazer parte do material que foi transferido para os depocentros.

Os folhelhos do Recôncavo são constituídos de sedimentos finamente granulados, bem selecionados e laminados. A deposição desses sedimentos, provavelmente ocorreu em águas tranquilas, onde as partículas se assentaram lentamente do material em suspensão.

Os sedimentos que compõem as formações da Bacia foram submetidos a processos diagenéticos responsáveis pela transformação em rocha, das partículas incoerentes embebidas em água.

Estudos sedimentológicos realizados no Instituto de Geociências da UFBA, constataram que os depósitos argilosos do Recôncavo com grau de saturação inicial em torno de 60 %, devido ao soterramento da Bacia, foram submetidos a elevadas pressões geostáticas, provocando a saída lenta da água dos poros, formando pacotes sedimentares densos e compactos. Os estudos concluíram que em alguns casos, atingiu-se redução de espessura das camadas de sedimentos na proporção de 10 para 1. Estas evidências são constatadas pelo elevado grau de pré-adensamento desses materiais.

Com o tempo o fluido intersticial que inicialmente possuia

a mesma composição química da água, que funcionou como meio de transporte, mudou seu caráter químico, devido a solução de minerais instáveis e a decomposição da matéria orgânica inclusa, por micro organismos. À medida em que os sedimentos iam sendo compactados, esse fluido intersticial movia-se para cima através dos sedimentos, dissolvendo ou precipitando matéria mineral ao longo do seu caminho.

A compactação dos sedimentos com consequente eliminação dos fluidos intersticiais, iniciou o passo seguinte no processo diagenético, representado pela etapa de cimentação das partículas, constituindo-se o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como o principal elemento cimentante.

Com o tempo o processo de erosão atuou removendo parcialmente em alguns locais e em outros totalmente, os sedimentos da formação São Sebastião. Mais tarde no período Terciário foi depositada a formação Barreiras, possibilitando que em alguns locais possa aparecer sobrejacente aos sedimentos das formações dos Grupos Ilhas e Santo Amaro. As camadas horizontais e sub-horizontais dos sedimentos Barreiras indicam que não foram submetidas a efeitos tectônicos significativos após sua deposição.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

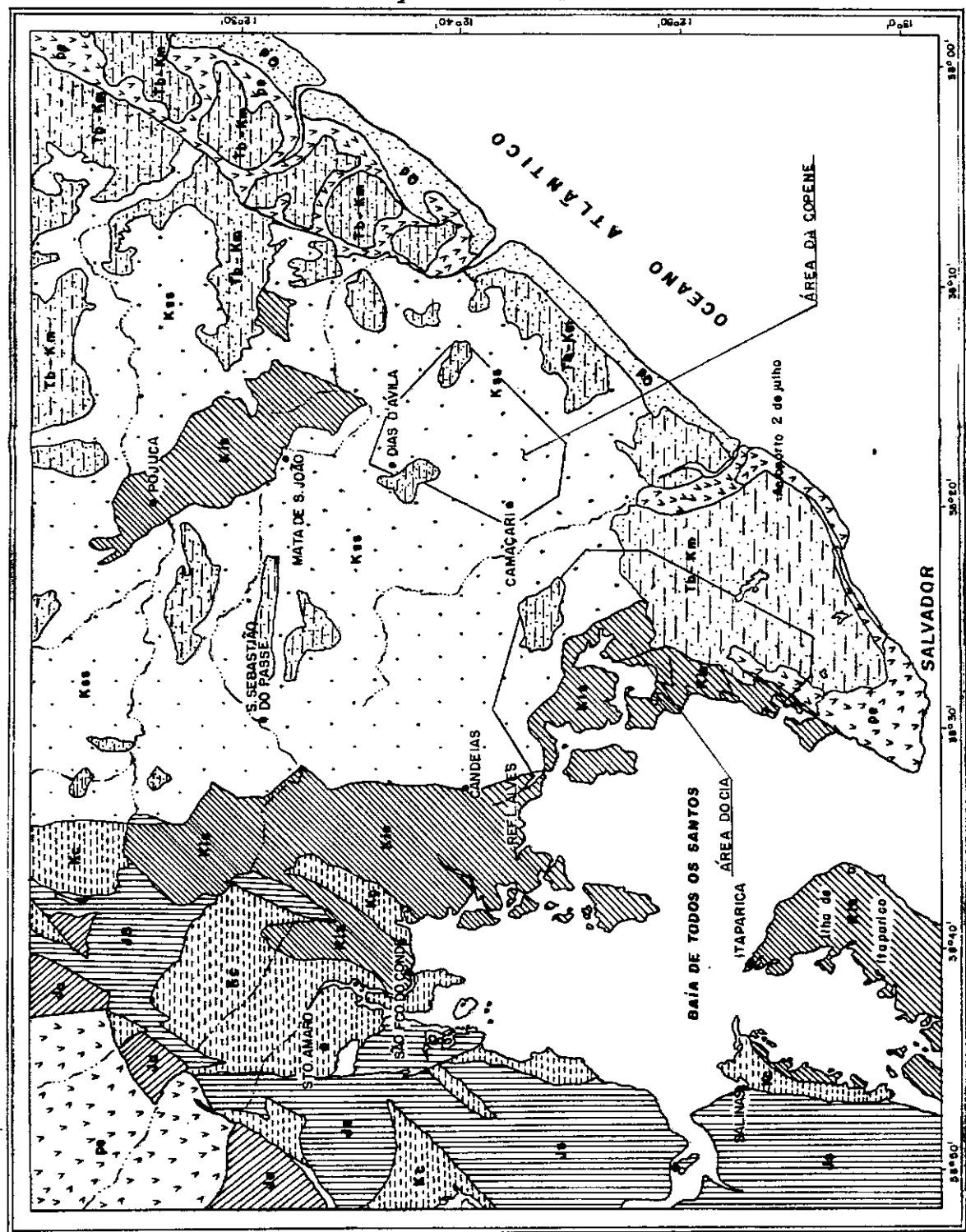
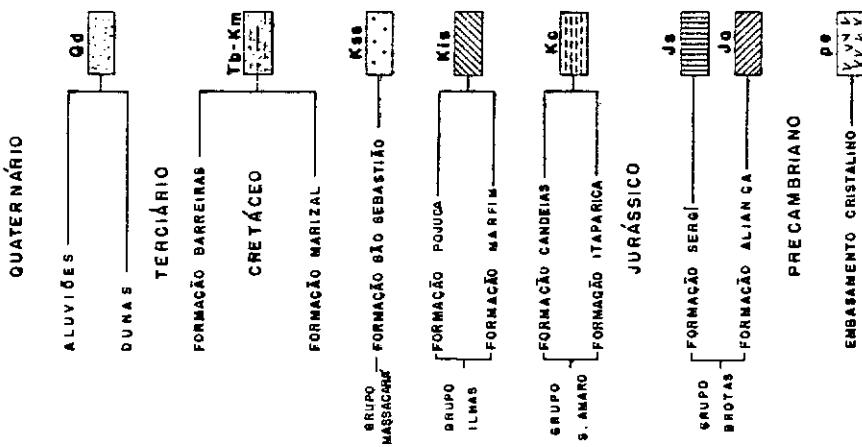


Fig. II.1 — Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Recôncavo

### CAPÍTULO III - PRINCIPAIS ASPECTOS NATURAIS INFLUENTES NOS MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES

Os processos de instabilização dos taludes naturais da Bacia Sedimentar são fortemente influenciados pelos aspectos de caráter geológico-geotécnico, estrutural e climático. Na análise do problema devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- complexidade litológica da região, aonde camadas com propriedades diferentes, ocorrem nos maciços condicionando principalmente as superfícies de deslizamento e as pressões de água no interior dos taludes.
- feições geológicas, tais como: falhas, fraturas, trincas, fissuras, planos de acamamento, etc., que compartimentam o maciço delimitando as superfícies críticas de ruptura.
- evolução dos perfis de intemperismo dos taludes, à partir da rocha de origem, possibilitando a divisão do perfil em horizontes com características principalmente de permeabilidade e resistência distintas.
- adoção de parâmetros de resistência representativos, em função da superfície e do tipo de ruptura de cada talude em particular.
- conhecimento da distribuição mais provável das pressões de água dentro dos taludes.

Os deslizamentos dos taludes da Bacia Sedimentar ocorrem em sua grande maioria nos períodos chuvosos. A infiltração efetiva dessas águas, dependendo do caso, pode gerar redes temporárias de percolação de água, reduções de pressões neutras negativas (succões), pressões hidrostáticas nas cunhas ou sub-pressões devido a elevação do N.A. do sub-solo, provocando com isto a ruptura dos taludes.

As encostas naturais se encontram distribuídas na Bacia, com inclinações bastante suaves, estando ao longo do tempo submetidas aos ajustes gradativos impostos pela Natureza, procurando a posição de equilíbrio. Dessa forma são raros os deslizamentos em encostas naturais, quando submetidas às condições de precipitações pluviométricas consideradas usuais na região. As rupturas neste caso, ocorrem geralmente em condições de chuvas excepcionais.

Os taludes de corte executados nos materiais da Bacia Sedimentar, seguindo os padrões de inclinação comumente empregados para materiais convencionais em obras viárias, tem demonstrado serem bastante instáveis, mesmo para as precipitações pluviométricas consideradas normais. O homem tem contribuído de forma significativa neste processo, criando condições favoráveis aos deslizamentos.

Eventualmente são encontrados dispersos na Bacia taludes rochosos com alturas e inclinações acima do normal, resistindo bem às condições pluviométricas adversas. Estes taludes destoam dos demais, podendo ser considerados como

atípicos, pois não são representativos para a região. A estabilidade dos mesmos é atribuída a condições geológicas - estruturais bastante favoráveis.

Os principais aspectos que influenciam os mecanismos de instabilização são apresentados à seguir.

### III.1 - GEOLOGIA

#### III.1.1 - Litologia e Estratigrafia

O mapa geológico da Bacia Sedimentar abrangendo a região próxima à Salvador, foi apresentado na Figura II.1, enquanto as unidades lito-estratigráficas são mostradas de forma resumida na Figura III.1 e na Tabela III.1.

A espessura do pacote sedimentar é bastante variável dentro da Bacia. Mapas geológicos da PETROBRÁS, mostram furos exploratórios onde são constatadas, em vários locais, espessuras de mantos de sedimentos superiores a 3.000 m.

Com base na análise dos dados geológicos disponíveis e nas observações de campo, são apresentadas à seguir algumas considerações gerais importantes para o entendimento dos mecanismos de instabilização desses taludes:

- a Bacia sofreu um maior aprofundamento na zona adjacente ao falhamento de leste a sul, onde os pacotes sedimentares são mais espessos.
- algumas formações podem não constar da coluna

estratigráfica em um determinado local, no entanto as formações existentes se apresentam sequenciadas no perfil por idade geológica.

- constata-se no campo o afloramento de formações de diferentes períodos geológicos, isto devido à ação conjunta das atividades tectônicas que provocaram deslocamentos verticais e horizontais de blocos dentro da Bacia e da erosão diferenciada sofrida por essas formações; como exemplo ilustrativo pode-se citar os afloramentos observados na Adutora Pedra do Cavalo, que num trecho com cerca de 40 quilômetros de extensão atravessou superficialmente as seguintes formações: Sergi, Candeias, Marfim, São Sebastião, Pojuca e Barreiras.

- em diversos locais os afloramentos das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas são bastante semelhantes, aonde apesar dos esforços da PETROBRÁS e de outros órgãos, não se conseguiu separar nos mapas geológicos, as formações de um mesmo Grupo ou de Grupos diferentes, devido à falta de um suporte litológico satisfatório; ocorrem, por exemplo, situações em que são encontradas camadas de sedimentos da formação Marfim do Grupo Ilhas, intercaladas em folhelhos da formação Candeias do Grupo Santo Amaro.

- os massapês são solos plásticos, com elevado teor de argila, contendo minerais argílicos expansivos tipo montmorilonita, camadas mistas ilita-montmorilonita e ilita, provenientes da intemperização das rochas

argilosas e de alguns siltitos das formações dos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas; os sedimentos argilosos da formação S. Sebastião são também denominados de massapês.

- os minerais argílicos responsáveis pelas características expansivas dos massapês já se encontram em sua grande maioria na própria constituição da rocha matriz, a parcela restante é formada durante o processo de intemperização das respectivas rochas sedimentares.

- devido às pressões geostáticas a que estas rochas foram submetidas no passado, os massapês provenientes da intemperização das rochas argilosas têm comportamento de solos pré-adensados.

- as rochas sedimentares não expansivas ocorrentes nas formações da Bacia são principalmente os arenitos e alguns siltitos; a intemperização dessas rochas, dá origem a mantos de solos arenosos e siltosos.

- os sedimentos da formação São Sebastião recobrem grande parte da Bacia Sedimentar do Recôncavo, sendo depositados de forma bastante uniforme sobre as formações que compõem os Grupos Santo Amaro e Ilhas; devido à idade geológica e ao caráter superficial da formação S. Sebastião, os sedimentos argilosos e arenosos na espessura de interesse no estudo dos mecanismos de instabilização dos taludes, não sofreram processos pronunciados de consolidação.

- na formação São Sebastião os mantos de sedimentos são bastantes espessos, ao contrário das camadas de solos

intemperizados dos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas.

As unidades lito-estratigráficas que compõem a coluna sedimentar do Recôncavo e que são de interesse desse trabalho, são mostradas esquematicamente na Figura III.i e descritas à seguir, com base na Revisão Estratigráfica da Bacia Sedimentar do Recôncavo/Tucano, elaborada pelos técnicos da PETROBRAS, VIANA et alii (1971) e no trabalho da Secretaria de Minas e Energia, organizado por INDA (1979).

#### III.i.i.1 - Embasamento Cristalino

O Embasamento Cristalino é da idade do Pré-Cambriano, sendo constituído basicamente de rochas ígneas-metamórficas, compreendendo granulitos, gnaisses, migmatitos e anfibolitos, cortados por veios de pegmatito e diabásio. O Embasamento é encontrado a grandes profundidades no fundo da Bacia, enquanto nas suas bordas encontra-se quase sempre recoberto por um espesso manto de intemperismo, o que dificulta muitas vezes sua delimitação, confundindo-o com os sedimentos da formação Barreiras.

#### III.i.i.2 - Formações Sedimentares

##### a) GRUPO BROTAS

Componente do Super Grupo Bahia, estando seu nome ligado ao vilarejo de Brotas, situado no Recôncavo Baiano, sendo constituído das formações Aliança e Sergi.

## FORMAÇÃO ALIANÇA

A formação Aliança tem esse nome devido à localidade de Mata da Aliança. Está situada predominantemente na parte mais inferior da Bacia, sobre a qual foram depositadas as outras formações, que lhe impuseram pressões geostáticas elevadíssimas. Encontra-se afetada por um grande número de falhas e possui uma impressionante uniformidade faciológica.

Baseado em critérios de superfície e sub-superfície foi dividida em três membros: Afligidos (membro inferior), Boipeba (membro médio) e Capianga (membro superior).

O Membro Afligidos é constituído predominantemente de folhelhos vermelho-tijolo, localmente manchados de verde, muito micáceos, com ocasionais intercalações de siltitos vermelhos, micáceos. Como toda formação este membro diminui gradativamente de espessura em direção ao norte.

O Membro Boipeba é essencialmente arenoso. A sua litologia consiste de arenitos cinza esbranquiçados, vermelho púrpura a marrom, granulometria fina a média, subarredondados. Os seus contatos com os folhelhos do membro Afligidos, sobreposto e Capianga sotoposto, são bruscos e facilmente identificados.

O Membro Capianga constitue-se de folhelhos vermelho-tijolo, localmente manchados de verde e cinza-esbranquiçado, quebradiços, muito micáceos, com ocasionais intercalações de calcáreos micro-cristalinos. Na parte

superior são comuns as intercalações de arenito vermelho-castanho, fino a siltico, muito micáceo. Aflora nas bordas norte e oeste da Bacia. Está presente em toda a Bacia, se constituindo no membro desta formação mais facilmente observável. A separação desse membro com a base da formação Sergi é meramente convencional, isso porque são resultantes de processos e ambientes que evoluíram gradativamente, sem apresentar quebras da sequência sedimentar.

#### FORMAÇÃO SERGI

O termo Sergi provém do rio Sergi. É constituída de arenitos finos, médios e grosseiros às vezes conglomeráticos, coloração pardo-amarela, cinza-esverdeado, vermelho-pálido, vermelho-amarronzado. Varia de mal a regularmente classificados, são sub-angulares a sub-arredondados, argilosos, pouco feldspáticos, raramente micáceos e caulínicos, com alguns seixos de silex quando conglomeráticos. O pacote de sedimentos da formação Sergi acha-se localizado imediatamente acima da formação Aliança e imediatamente abaixo do Grupo Santo Amaro. A formação do pacote é resultante do livre trabalho do vento reunindo os sedimentos.

#### b) GRUPO SANTO AMARO

O termo provém da cidade de Santo Amaro da Purificação. Este Grupo é constituído das formações Itaparica e Candeias, as quais foram discriminadas através de métodos

sub-superficiais de eletro-resistividade, isto porque, é muito difícil fazer distinções através de mapeamentos de superfície, onde apenas o membro Pitanga é reconhecível na paisagem do Recôncavo, devido sua litologia e expressão morfológica típica.

#### FORMAÇÃO ITAPARICA

A formação Itaparica se apresenta entre os folhelhos da formação Candeias e os arenitos da formação Sergi. O nome provém da ilha de Itaparica. É constituído predominantemente de folhelhos e siltitos de cores cinza-oliva e cinza-esverdeado. Os folhelhos do topo são marrons e cinza-esverdeados, silticos, características diagnósticas da formação. Os folhelhos cinza-esverdeados possuem intercalações de lâminas de calcita fibrosa, com presença de arenitos e calcáreos.

As principais características para identificação da formação Itaparica no campo são resumidamente as seguintes: presença de lâminas de calcita fibrosa entre os planos de estratificação dos folhelhos; laminação paralela e horizontal; coloração marrom dos folhelhos do topo e a presença do arenito Água Grande, com forma aproximada de lençol, com espessura de 1 a 50 m, posicionado em cima dos folhelhos.

#### FORMAÇÃO CANDEIAS

A formação Candeias tem esse nome devido a um poço

petrolífero no município de Candeias. Está dividida nos quatro membros, da base para o topo, à seguir: Tauá, Gomo, Pitanga e Maracangalha. A formação Candeias é constituída basicamente de folhelhos quebradiços, cinza-escuros assentados sobre os folhelhos Itaparica.

O Membro Tauá é a base da formação, sendo constituído de folhelhos cerosos, cinza-escuros a pretos; siltitos finamente micáceos e arenitos muito finos, delgados e calcíferos. O acamamento é geralmente em lâminas paralelas horizontais. Apresentam boa uniformidade faciológica, o que revela um ambiente de sedimentação lacustre bastante tranquilo com subsidência lenta.

O Membro Gomo consiste numa sucessão de folhelhos, siltitos, calcáreos e arenitos. A ocorrência de camadas delgadas de calcário intercaladas nos folhelhos deste membro, é a característica que mais o diferencia dos demais membros da formação Candeias. Os folhelhos são geralmente de cor cinza-escura a preta.

O Membro Pitanga compõe-se de uma série de corpos areníticos maciços. Esses arenitos são finos, com coloração verde ou amarela quando intemperizados. Corpos espessos são frequentes, notadamente no sul do Recôncavo, onde seus afloramentos aformoseiam a paisagem, podendo ser encontrados a oeste de Santo Amaro, ou emergem das águas da Baía de Todos os Santos, formando as ilhas dos Frades, de Maré, Bimbaras, Maria Guarda e das Vacas.

O Membro Maracangalha constitue-se de folhelhos de

coloração cinza-esverdeado a cinza-escuro, micáceos e calcíferos.

Para identificação da formação Candeias no campo, consideram-se as seguintes evidências: o contato desta formação com as demais se faz por interdigitação; os folhelhos são cinza-escuros, duros, quebradiços, micáceos, com laminacão paralela; verifica-se a presença de arenitos maciços confinados entre folhelhos.

### c) GRUPO ILHAS

Este Grupo ocorre em todo o Recôncavo, sobrepondo-se ao Grupo Santo Amaro. Sobre ele repousa o Grupo Massacará (formação São Sebastião), que interdigita-se em alguns locais com os sedimentos Marfim (Ilhas inferior) e Pojuca (Ilhas superior). A diferenciação entre estas formações do Grupo Ilhas, à partir de observações de superfície, é bastante difícil, só podendo ser feita através de eletroresistividade.

### FORMAÇÃO MARFIM

A formação Marfim constitue-se predominantemente de arenitos finos a silticos, raramente grosseiros, cinza-claros a esverdeados, mal selecionados, com abundante matriz argilosa. Apresentam marcas de ondas, estruturas de escorregamento e laminacões paralelas e cruzadas. Os folhelhos são cinza-esverdeados claros e escuros, micáceos. São poucos os afloramentos desta formação. Em

sub-superfície, entretanto, ocupa pelo menos dois terços do Recôncavo, na parte centro-norte da Zacia.

#### FORMAÇÃO POJUCA

A formação Pojuca é composta de uma sequência de arenitos, folhelhos, siltitos e calcáreos intercalados. São bons os seus afloramentos, notadamente nas cercanias da cidade de Pojuca. O contato inferior com a formação Marfim é concordante. Fora da faixa de ocorrência desta formação, o contato é gradacional com a formação Candeias, sendo marcado na passagem dos sedimentos silticos-arenosos para os folhelhos Candeias. O contato com a formação São Sebastião (Grupo Massacará), que lhe sobrepõe, é translacional. A formação Pojuca interdigita-se com os arenitos e conglomerados da formação Salvador e grada lateralmente para o Grupo Ilhas.

#### d) GRUPO MASSACARÁ (Formação São Sebastião)

O nome provém da vila de Massacará, situada no município de Euclides da Cunha. Este Grupo é representado apenas pela formação São Sebastião, cujo nome é devido a cidade de São Sebastião do Passé, sendo composta dos membros Paciência (inferior), Passagem dos Teixeiras (médio) e Rio Joanes (superior).

No geral esta formação é constituída de arenitos grosseiros a finos, amarelo-avermelhados, friáveis, feldspáticos, intercalados com argilas silticas,

variegadas. Na parte mediana aumentam as intercalações arenosas em forma de espessos bancos, emprestando à unidade, geomorfologia prontamente diagnosticada por mergulhos de encosta bem desenvolvidos. Na parte superior há uma nítida predominância de clásticos mais grosseiros, por vezes conglomeráticos.

A formação São Sebastião cobre aproximadamente dois terços do Recôncavo. Esta formação pode estar recoberta discordantemente pelas formações Marizal, Barreiras e mais raramente pela Sabiá.

Lateralmente interdigita-se com a formação Salvador. Varia grandemente de espessura, principalmente por ter sido erodida no seu topo.

O Membro Paciência é composto de arenitos, folhelhos e siltitos. Os arenitos são finos a grosseiros, sub-arredondados, regularmente selecionados, ligeiramente calcíferos, feldspáticos, com intercalações finas de argila cinza-amarelada a vermelha-clara. Os siltitos e folhelhos são cinza-claros a cinza-avermelhados e também apresentam nódulos de calcáreos e intercalações argilosas. O folhelho preto, que pode ser considerado como a rocha característica, é fossilífero, basicamente micáceo e calcífero.

O Membro Passagem dos Teixeiras caracteriza-se por sua parte basal constituída por espessos bancos de arenitos, intercalados com delgadas camadas de argilas silticas, variegadas e de folhelhos silticos. No contato das

intercalações argilosas e siltosas com os arenitos ocorrem frequentes camadas de óxido de ferro concretionário, de origem secundária, que realçam os mergulhos bem desenvolvidos das encostas. Sobrepondo-se à parte basal, ocorre uma seção constituída de argilas siltosas, folhelhos, siltitos e arenitos finos. Os folhelhos são micáceos, bem estratificados, vermelhos, marrons, amarelos e verde-cobre.

O Membro Rio Joanes tem esse nome devido ao Rio Joanes, que corta os municípios de Camaçari e Lamarão do Passé, onde se encontram as melhores exposições desta unidade. A sua base é constituída de arenitos finos e siltitos. Os arenitos são róseos, cinza-avermelhados, vermelho-brilhantes, maciços em grande parte. Sobre esta sequência ocorrem intercalações de argilas siltosas, folhelhos, siltitos e arenitos pobemente fossilíferos. As argilas são cinza-avermelhadas, plásticas, enquanto os folhelhos e siltitos são cinza-claros, róseos, violetas, vermelhos, chocolates, amarelo-acastanhados, muito micáceos, siltosos, contendo localmente delgadas lâminas de óxido de ferro e materiais carbonosos. Na parte superior ocorrem arenitos grosseiros, às vezes conglomeráticos, cinza-esbranquiçados, amarelos, mal classificados e friáveis. A sua distribuição em superfície é bastante restrita pelo fato de estar muito exposto à erosão.

Os sedimentos desse membro podem estar recobertos discordantemente pelos sedimentos das formações Marizal e

Barreiras, ou ainda, pela areias de dunas e de aluviões recentes. Interdigitam-se com os conglomerados e arenitos da formação Salvador.

#### e) FORMAÇÃO MARIZAL

O nome é devido a serra do Marizal, situada à leste da cidade de Tucano (Bahia), donde estes sedimentos foram inicialmente mapeados. Compõe-se de arenitos e conglomerados, ocorrendo ainda folhelhos, siltitos e calcáreos.

No Recôncavo, aflora em áreas isoladas, nas partes norte e central e a sudeste, nas proximidades de Dias D'Ávila. Seus afloramentos formam morros arredondados facilmente reconhecidos em fotografias aéreas.

Sobrepon-se em discordância angular ao Grupo Massacará e está sotoposta em discordância homogênea à formação Barreiras. Os contatos são facilmente estabelecidos pelas diferenças das litologias envolvidas.

Os arenitos são variegados, de cinza-esbranquiçados a amarelo-vermelhados, finos a grosseiros, mal selecionados, sub-angulares a arredondados, quartzosos, feldspáticos em parte, pouco micáceos, raramente ferruginosos.

Os conglomerados são policompostos, cinza-esbranquiçados a amarelados, constituídos de matacões e seixos de arenitos vermelhos, de calcários pretos e de quartzos e

sílex, em matriz arenosa.

Os folhelhos são cinza-róseos e amarelados, silticos, pouco calcíferos, apresentando às vezes finas lâminas de gipsita e barita.

Os siltitos são róseos e amarelo-avermelhados, micáceos, argilosos, raramente ferruginosos e calcíferos.

Os calcáreos são raros, apresentando coloração cinza a cinza-amarelada, finamente cristalinos, às vezes argilosos.

#### f) FORMAÇÃO BARREIRAS

Estes sedimentos terciários são muito conhecidos pelo fato de formar barreiras ao longo da costa brasileira. Cobrem extensas áreas do Recôncavo sob a forma de tabuleiros, dispostos em patamares ligeiramente inclinados em direção à costa. A espessura desses sedimentos varia muito, conforme a intensidade da erosão no seu topo, mas raramente ultrapassa os 50 m.

A formação Barreiras assenta-se em discordância angular sobre os sedimentos dos Grupos Brotas, Santo Amaro, Ilhas e Massacará ou em discordância homogênea sobre a formação Marizal. Estende-se além dos limites da Bacia, sobrepondo-se às rochas do Embasamento Cristalino.

Constitue-se de areias grosseiras; argilas cinza-avermelhadas, roxas e amareladas e de arenitos grosseiros e conglomerados, mal classificados, cinza-esbranquiçados,

amarelados e avermelhados, com abundante matriz caulínica.

### g) SEDIMENTOS DE PRAIA E ALUVIÕES

São assim denominados todos os sedimentos recentes, quaternários, litorâneos e continentais, tais como as areias das praias da Baía de Todos Santos, as dunas que ocorrem na região de Camaçarí e os aluvões dos rios que cortam o Recôncavo.

#### III.1.2 - Geomorfologia

O relevo da Bacia Sedimentar é de forma geral bastante suave, com lombos e colinas de vertentes convexadas, eventualmente tabulares, configurando um relevo plano, pouco ondulado.

As colinas estão isoladas, ligando-se entre si, em alguns trechos, através de rampas. Em outros locais são monoclinais, com camadas basculadas por pequenas falhas, enquanto um nível de disseccado mais baixo é integrado por lombos. A atuação dos movimentos da massa torna-se aparente através das marcas de solifluxão do material alterado.

A unidade é atravessada por falhas com direções NE-SW e NW-SE, evidenciadas por alinhamentos no relevo e cursos de água retilinizados. A rede de drenagem apresenta alta densidade de pequenos cursos d'água, com aprofundamentos baixos, dando um padrão geral dendrítico.

A baixada litorânea da Bacia Sedimentar é constituída de

colinas rebaixadas e de restos de tabuleiros. As cotas altimétricas geralmente estão abaixo dos 80,0 m, atingindo apenas em locais isolados valores na ordem de 100,0 m.

Nas regiões da Bacia em que afloram as formações dos Grupos Ilhas, Santo Amaro e principalmente a formação Aliança do Grupo Brotas, a área é recoberta por um manto pouco espesso de solos residuais, provenientes da alteração das rochas sedimentares, formando perfis típicos de intemperismo até a rocha matriz. Como os mantos intemperizados não são profundos, nos locais de relevo mais acentuado e nos taludes de corte, normalmente são expostas as rochas dessas formações.

Em algumas encostas com condições topográficas favoráveis, é comum a formação de mantos de colúvios pouco espessos, em equilíbrio bastante precário. Estas línguas coluviais ao longo do tempo, principalmente nos períodos de chuvas, experimentam movimentações lentas e contínuas, conferindo a estes locais uma conformação de inclinação suave.

Na Tabela III.2 são apresentados valores representativos de inclinações, alturas e cotas altimétricas das encostas naturais encontradas na Bacia Sedimentar do Recôncavo. Estes dados foram obtidos através do levantamento topográfico da diretriz da Adutora Pedra do Cavalo e também com base em dezenas de cadastramentos de encostas naturais, efetuados pelo autor, cobrindo de forma bastante representativa toda a Bacia Sedimentar.

Devido às características geotécnicas dos materiais

constituíntes dos horizontes superficiais de intemperismo das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, a região onde ocorrem os massapés apresentam relevo suave, com as encostas naturais tendo inclinação média de 6°, com variação entre 3° e 9°. Nos locais de afloramento de rochas, como folhelhos, arenitos ou siltitos, as encostas naturais são mais íngremes, com inclinação média de 20° e valores entre 13° e 41°.

Nas regiões em que aflora a formação São Sebastião, a área é recoberta por um manto bastante espesso de sedimentos, quase sempre não consolidados. As rochas sedimentares dessa formação estão expostas nas faces dos taludes somente nos locais de cortes mais profundos. Os sedimentos são predominantemente granulares com camadas intercaladas de materiais argilosos, conferindo aos taludes um comportamento singular, com alternância de materiais com propriedades distintas. Nesta formação as encostas naturais são mais íngremes do que na região de ocorrência dos solos residuais dos Grupos Santo Amaro e Ilhas. A inclinação média das encostas naturais da formação S. Sebastião é em torno de 11°, encontrando-se valores entre 5° e 21°. Os taludes estão submetidos a processos erosivos mais rigorosos, provocando em diversas situações, solifluxão dos materiais arenosos em períodos de elevada precipitação pluviométrica.

O Grupo Brotas é constituído, de forma característica, dos folhelhos vermelhos da formação Aliança e dos arenitos grosseiros da formação Sergi. Estes materiais

frequentemente são encontrados nas bordas e eventualmente nas zonas próximas às falhas existentes no interior da Bacia Sedimentar. Estas ocorrências são devidas às movimentações que se processaram preferencialmente nestas zonas, provocando o afloramento de formações que de acordo com o pacote sedimentar foram depositadas na parte inferior da Bacia. Os folhelhos da formação Aliança são fortemente pré-adensados, com cimentação predominante de óxido de ferro. São duros, muito fraturados e exibem perfil de intemperismo pouco desenvolvido. As encostas naturais e os taludes de cortes implantados nestes materiais são, de forma geral, bem mais íngremes do que as outras formações da Bacia. A inclinação dos taludes está na faixa de 20° a 60°, apresentando um valor médio de 45°.

Em alguns locais da Bacia, principalmente nos topo mais elevados, ainda podem ser encontrados os sedimentos arenosos da formação Barreiras. Estes depósitos estão bastante escassos devido à intensiva exploração comercial, pelo fato de se tratar de materiais com excelentes propriedades geotécnicas para uso principalmente nos aterros de obras viárias da região.

### III.1.3 - Feições Geológicas

A Bacia Sedimentar do Recôncavo, conforme descrito, sofreu um processo de tectonismo rigoroso, com o desenvolvimento de tensões internas, dando origem a sistemas de falhamento que provocaram dobramentos suaves,

deslocamentos verticais e horizontais, formando "grabens", "semi-grabens" e "horsts" interpostos. As pressões geostáticas também foram sensivelmente reduzidas, devido as erosões diferenciais que se processaram dentro da Bacia. Esses fatores contribuiram muito na definição dos sistemas de falhamento e fraturamento da Bacia.

As feições geológicas exercem influência muito grande no processo de instabilização dos taludes, geralmente proporcionando comportamentos anisotrópicos com relação a resistência e a deformação. Muitas rupturas têm sido verificadas por não se levar em conta a influência dessas feições nas análises de estabilidade. Numa mesma região, alguns locais específicos podem ter sido mais estruturalmente afetados, com relação a falhamentos, dobras, mergulhos etc..., tornando-se potencialmente mais instáveis do que outros locais vizinhos.

As zonas situadas nas proximidades das falhas são mais afetadas estruturalmente, devido às concentrações de tensões que se desenvolveram durante as movimentações tectônicas, delimitando faixas potencialmente mais instáveis. Exemplos que caracterizam este fenômeno, são detectados na área destinada à implantação do Porto de Aratú e ao longo das ocorrências dos folhelhos Aliança.

As rochas sedimentares da Bacia apresentam um sistema principal de fraturamento sub-vertical, onde a quantidade e as aberturas das fraturas, de forma geral, diminuem com a profundidade. Sistemas secundários são notados em outras

direções, devido aos alívios de pressão, havendo uma tendência muito grande na formação respectivamente, de fraturas sub-paralelas aos planos de acamamento e à superfície dos taludes.

A evolução do intemperismo sobre os folhelhos da Bacia, basicamente não altera os sistemas de fratura, no entanto aumenta consideravelmente a sua quantidade por unidade de volume.

Inspeções de campo foram empreendidas em diversos taludes da Bacia Sedimentar com o objetivo de verificar o desenvolvimento de trincas de tração, tendo-se constatado o seguinte:

- . a maioria dos taludes naturais da Bacia, tem altura inferior a 15,0 m e inclinação suave, inferior a 30°, dificilmente apresentando neste caso trincas de tração.
- . os taludes mais íngremes eventualmente encontrados na Bacia com inclinações superiores a 45° e com altura acima de 15,0 m geralmente apresentavam trincas de tração no topo.
- . o aumento da inclinação dos taludes está relacionado diretamente com o aparecimento de trincas de tração.
- . a presença dessas trincas é muito importante, pois constitue-se num forte indício de movimentações e de futuros deslizamentos, delimitando inclusive as cunhas de ruptura.

. nas épocas das precipitações pluviométricas, em que a umidade desses materiais era mais elevada, notava-se maior incidência de trincas.

. as trincas de tração geralmente se desenvolvem ao longo de juntas ou fissuras pré-existentes.

Nos folhelhos intemperizados do Grupo Ilhas, na região do Porto de Aratuá, foram detectadas trincas de tração sub-verticais, situadas no topo dos taludes, com até 20,0 m de extensão, profundidades superiores a 5,0 m e aberturas máximas no topo de 0,5 m.

Os horizontes superficiais estão submetidos até uma certa profundidade, à propagação de trincas de retração nos períodos prolongados de estiagem, devido ao desenvolvimento de succões elevadas no material argiloso. A profundidade atingida pelas trincas de retração é função da espessura dos referidos horizontes, da posição do N.A do subsolo e da profundidade até onde se verificam variações expressivas de umidade devido à evaporação, definindo assim a zona ativa. Foram detectadas trincas com até 5 m de profundidade.

O elevado teor de minerais argílicos expansivos presentes nos massapês provoca a redução do espaçamento entre as trincas de retração.

As trincas de retração nos períodos de estiagem, se intercomunicam com as fraturas existente nos horizontes de transição e na rocha matriz, que permanecem sempre

abertas.

Ao longo dos sistemas principais de fraturamento dos folhelhos, verifica-se com frequência a deposição de filmes milimétricos de óxido de ferro nos planos de fratura, provocada pela percolação das águas infiltradas das precipitações pluviométricas através do maciço, em direção preferencial ao N.A. do sub-solo ou à face do talude.

O fluxo de água para o interior dos taludes é essencialmente vertical e se dá basicamente através das trincas de retração que se desenvolvem nos horizontes superficiais.

Nos principais taludes ao longo da Adutora Pedra do Cavalo, que apresentavam perfis com os horizontes típicos de intemperismo dos folhelhos das formações que compõem os Grupos Santo Amaro e Ilhas, foi desenvolvido um programa de investigações de trincas. Este programa teve como objetivo caracterizar as principais trincas de retração que se desenvolviam no topo desses taludes em massapés, nos períodos de estiagem, no que concerne principalmente a distribuição, profundidade e abertura das mesmas. Para tal despejou-se, dentro das trincas, um grande volume de calda constituída de cal e água, de forma a permitir que a mistura fluísse livremente até a profundidade possível. Após 24 horas foram abertos poços à pá e picareta fazendo-se as observações de interesse. As experiências ficaram limitadas à capacidade de penetração da calda nas

trincas, assim como das profundidades possíveis de serem atingidas com os poços de inspeção. Na Figura III.2 são mostrados esquemas individuais de algumas das principais trincas.

Foram cadastradas, na superfície, trincas com extensão de até 5,0 m, abertura de 0,2 m e profundidade de 5,0 m, atravessando os horizontes superficiais IA, IB e IC e se intercomunicando com as fraturas dos horizontes II e III subjacentes. A descrição detalhada desses horizontes de intemperismo será feita no Capítulo IV.

As rupturas profundas envolvendo solos geralmente ocorrem na formação S. Sebastião, e, envolvendo rochas, estão praticamente limitadas às formações que compõem os Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas. Isto deve-se à presença dos mantos espessos de sedimentos geralmente não consolidados da formação S. Sebastião, como também ao fato das rochas somente ocorrerem nesta formação à grandes profundidades.

As feições geológicas assumem papel bastante importante, pois na maioria das vezes delimitam as superfícies de deslizamento que atravessam os horizontes IC, II e III. As cunhas de ruptura assumem a forma definida pela combinação dos principais planos de fraqueza da rocha, mesmo que tenham pequenas dimensões. A resistência ao cisalhamento ao longo desses planos é baixa, quando comparada com a resistência da rocha só ou mesmo da rocha intemperizada. A posição e a inclinação das descontinuidades geológicas em relação à geometria do talude são fundamentais no

processo de instabilização. É comum em obras viárias da Bacia, de taludes situados em um dos lados do corte, estarem submetidos a diversos casos de ruptura, e do outro lado, os problemas praticamente não existirem, comprovando a importância das feições geológicas.

Tem-se observado com frequência, planos de fratura com superfícies polidas e estriadas, evidenciando as movimentações que ocasionalmente ocorrem dentro do maciço. Este aspecto tem influência na definição dos mecanismos de ruptura e na escolha dos parâmetros de resistência. Análises de estabilidade utilizando-se resistências de pico do material intacto, nos taludes com planos de fraqueza pré-existentes, tem conduzido a projetos inseguros, com fatores de segurança elevados, porém irreais.

Os planos de contato entre camadas de materiais granulares e argilosos, comuns na formação S. Sebastião, por onde geralmente passam as superfícies de ruptura dos taludes, tem-se mostrado quase sempre polidos e espelhados.

As estruturas herdadas da rocha matriz preenchidas com argilas plásticas, encontradas nos horizontes IA e IB, normalmente não influenciam as rupturas superficiais que ocorrem nesta zona, porque a resistência desses materiais de preenchimento, embora baixa, está na mesma ordem de grandeza da resistência dos massapês.

Durante o levantamento geológico dos taludes deslizados,

foi constatada, em vários casos, a existência de camadas delgadas de argilas plásticas, de coloração marrom a cinza, depositadas nas descontinuidades dos folhelhos. As escavações de poços de grande diâmetro, atingindo profundidades elevadas, para rebaixamento do N.A. de um dos taludes do Porto de Aratú, permitiram também a observação dessas argilas ao longo das fraturas dos folhelhos, com espessuras de até 3 cm. Os mesmos aspectos foram registrados com frequência durante a escavação das valas profundas da Adutora Pedra do Cavalo.

As argilas plásticas de preenchimento reduzem substancialmente a resistência ao cisalhamento ao longo das descontinuidades, definindo superfícies de fraqueza dentro do maciço. A presença das mesmas torna-se mais importante nos horizontes IC, II e III, tendo-se constatado com base em investigações de campo e em ensaios de laboratório, que geralmente esses materiais são formados no local devido a intemperização das rochas argilosas, havendo também a possibilidade de uma parte ter sido carreada do horizonte IB sobrejacente.

A evolução do fenômeno com o aumento da espessura das argilas depositadas nas fraturas, pode dificultar ou impedir a drenagem das águas de infiltração, possibilitando que em épocas de precipitações intensas, sejam criadas pressões hidrostáticas elevadas sobre as cunhas e consequentemente a instabilização dos taludes.

Verificou-se que estas argilas plásticas, em alguns,

casos apresentavam-se com superfícies lisas, polidas e estriadas, geralmente com as partículas de mica orientadas na direção da movimentação principal ao longo das descontinuidades.

Em alguns cortes, nas zonas abaixo do N.A., observou-se também a presença de camadas com 1 a 2 cm de espessura de uma argila plástica, riquíssima em carbonato de cálcio, denominada de calcita, preenchendo as fraturas principais dos folhelhos. A coloração esbranquiçada da calcita proporciona um bom contraste com o cinza esverdeado típico dos folhelhos, delimitando visualmente os veios na face da escavação. A origem desse material é atribuída principalmente a precipitação de cálcio, ao longo das fraturas do maciço rochoso, devido a atividade da água do sub-solo. O teor elevado de cálcio e as condições adequadas do meio favoreceram a deposição desse elemento. As rupturas observadas nos taludes em folhelhos nesta situação, ocorreram na maioria dos casos logo após os cortes, envolvendo cunhas de pequeno a médio porte, perfeitamente definidas pelos planos de fratura.

Nas formações dos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas tem-se constatado também em vários taludes, a ocorrência de veios delgados de calcita fibrosa cristalizada entre os planos de estratificação ou preenchendo as fraturas principais dos folhelhos. Esta situação ocorre com certa frequência nas zonas mais elevadas, aonde o N.A. é profundo. A presença da calcita, nesta forma, confere maior resistência aos processos erosivos, além de permitir

que taludes bastantes íngremes permaneçam estáveis ao longo do tempo, devido ao tipo de armadura que é criada com os veios resistentes de calcita.

A natureza das superfícies "slickensided" é muito difícil de ser determinada, atribuindo-se no caso da Bacia provavelmente aos seguintes fatores: movimentações tectônicas durante o período de formação; adensamento das camadas; descarregamento não uniforme devido às erosões; deformações provocadas pelas escavações; deformações diferenciais geradas durante a intemperização da rocha, etc..

O alívio das pressões devido as escavações, proporciona expansão lateral do material, causando a abertura das trincas e consequentemente o aumento da permeabilidade do maciço. Em alguns casos mais críticos, após as escavações, a movimentação excessiva da cunha definida pelas descontinuidades, pode originar balanços de alguns centímetros, visualmente notados na face do talude.

#### III.1.4 - Hidrogeologia

O conhecimento das condições hidro-geológicas da Bacia Sedimentar do Recôncavo, em particular nos locais situados nas vizinhanças dos taludes, associado com as pressões de água que ai se desenvolvem devido às precipitações pluviométricas, é essencial e imprescindível para o entendimento dos mecanismos que provocam as rupturas.

O regime do fluxo das águas do sub-solo é importante

porque define as regiões de descarga das águas que infiltram nas áreas adjacentes aos taludes, delimitando as zonas potencialmente mais instáveis, onde se desenvolvem excessos de pressão neutra. As áreas de descarga normalmente estão localizadas nos vales e em alguns taludes próximos aos principais rios e riachos que cortam a Bacia. Nestes taludes são frequentes as surgências de água.

Exemplos típicos desse fenômeno, foram registrados durante a construção da rodovia Canal de Tráfego, no trecho implantado na formação São Sebastião. Os cortes interceptaram as redes de fluxo das águas, constantes nas camadas granulares desta formação, que estavam direcionadas para a bacia do rio Joanes imediatamente ao lado direito desta rodovia. Durante as chuvas intensas de abril e maio de 1975, ocorreram deslizamentos generalizados nos taludes situados no lado esquerdo (lado de montante). Nas áreas de descarga, a presença de detalhes geológicos ou de condições específicas de fluxo d'água, pode contribuir decididamente no desencadeamento dos processos de instabilização de alguns taludes, enquanto outros na mesma região podem permanecer estáveis.

A ocorrência de mantos de colúvio sobre os taludes, pode em alguns casos dificultar a drenagem livre das águas de infiltração através de estratos mais permeáveis que afloram na face desses taludes e provocar a elevação das pressões neutras no interior dos maciços.

Constatou-se através dos taludes instrumentados com piezômetros, que na quase totalidade dos casos observados e retro-analisados, a superfície de ruptura estava acima das variações sazonais do N.A. estático do sub-solo. As pressões de água que se desenvolveram dentro dos taludes, responsáveis pelas rupturas, foram devidas basicamente a regimes temporários criados pela infiltração das águas das precipitações pluviométricas.

As principais bacias hidrográficas do Recôncavo pertencem aos rios Paraguaçú, Pojuca, Jacuípe, Inhambupe e Jaguaribe. Além desses rios, merecem destaque o Subaé, Traripe e Joanes, que atravessam as formações expansivas da Bacia Sedimentar. São rios perenes, alimentados por um grande número de riachos tributários, destacando-se dentre eles o rio Joanes com uma bacia em torno de 932 km<sup>2</sup> de área.

Devido à configuração estrutural (falhas, fraturas etc.) da Bacia Sedimentar, os escoamentos principais dos cursos d'água tendem a ser paralelos, direcionados para leste e sudeste, desembocando no Oceano Atlântico.

Os vales dessas bacias hidrográficas, são largos e férteis, onde se desenvolvem várias culturas.

O potencial hídrico subterrâneo das formações da Bacia Sedimentar é muito elevado, alcançando valores superiores a 5m<sup>3</sup>/h/m. Está concentrado principalmente nas camadas granulares permeáveis de arenito, siltito e de solos arenosos e siltosos, geralmente encerrados entre camadas

argilosas menos permeáveis. Esta situação se repete em várias formações da Bacia, sendo comum o estabelecimento de um sistema hidrodinâmico, onde os aquíferos estão superpostos, constituindo os denominados lençóis suspensos. A alimentação desses aquíferos tem como contribuinte principal as infiltrações oriundas das precipitações pluviométricas. Nos períodos de enchentes os rios também contribuem com uma pequena parcela por meio de infiltrações laterais.

O nível d'água (N.A.) estacionário do sub-solo flutua com as precipitações pluviométricas sazonais. Nas zonas de baixada, o N.A. está geralmente a pequenas profundidades, aflorando em alguns locais. Quando os aquíferos estão confinados por camadas argilosas, menos permeáveis, podem ser encontrados casos de artesianismo. Nas regiões de topografia mais acentuada, o N.A. acompanha suavemente a superfície das encostas, porém a profundidades tais que normalmente não chegam a atingir as eventuais cunhas de ruptura.

Os principais aquíferos encontrados na Bacia Sedimentar são descritos à seguir:

**Formação Barreiras** - Em forma de aquíferos livres e às vezes confinados, a água encontra-se dentro dos horizontes arenosos característicos desta formação. No contato da formação Barreiras com o Embasamento são frequentes surgências de água, devido ao contraste entre as permeabilidades desses materiais.

**Formação São Sebastião** - Constitui-se no maior potencial de reserva de água subterrânea da região do Recôncavo. De acordo com os trabalhos desenvolvidos pela SUDENE, a realimentação desta formação é da ordem de 300 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Os sedimentos são superficiais e ocupam grande extensão da Bacia. A formação é constituída de sedimentos granulares (areias siltosas e siltes arenosos) com intercalações de camadas de sedimentos argilo-siltosos (massapê). O posicionamento desses sedimentos possibilita com bastante frequência a formação de lençóis suspensos e aquíferos desenvolvidos dentro dos materiais granulares confinados por camadas argilosas menos permeáveis, podendo ser criadas assim condições peculiares de pressões de água dentro dos taludes. São comuns ressurgências e fontes de água nesta formação.

**Grupo Ilhas** - As formações Pojuca e Marfim possuem também camadas de materiais granulares, permeáveis, intercaladas na massa predominante de solos argilosos e folhelhos, constituindo-se num bom potencial aquífero. Um exemplo típico é a famosa Fonte da Bica na ilha de Itaparica, onde se extrai a Água Mineral Itaparica.

**Formação Sergi** - É o segundo maior potencial aquífero do Recôncavo. Fontes e ressurgências são frequentes.

### III.2 - CLIMA

Os fatores climáticos exercem influência marcante nos processos de instabilização dos taludes da Bacia

Sedimentar do Recôncavo, destacando-se a pluviometria pelo fato de estar diretamente associada aos deslizamentos. Os outros fatores também são importantes devido à susceptibilidade de alteração e de modificação das propriedades desses materiais expansivos quando expostos às intempéries.

### III.2.1 - Efeitos da Água nos Taludes

A água participa ativamente nos processos de intemperização das rochas da Bacia Sedimentar e na deflagração dos mecanismos de instabilização dos taludes.

Os fenômenos responsáveis pela desagregação física e pela alteração química das rochas argilosas são bastante complexos e atuam conjuntamente, estando sempre associados aos seguintes fatores: variação da umidade da rocha; estado estrutural da rocha com relação a presença de descontinuidades como fraturas, trincas, fissuras e planos de acamamento; composição mineralógica e tipo e teor de cátions trocáveis.

O desenvolvimento acelerado da intemperização física, causando os micro-fissuramentos, possibilita que os processos de alteração química atuem mais intensamente. De acordo com DOBEREINER et alii (1990), os minerais diagêneticos que normalmente ocorrem em rochas pelíticas de algumas formações do Brasil, são muito importantes em termos de alteração química destacando-se os sulfetos e carbonatos. A exposição dessas rochas às variações de

umidade, aliada à disponibilidade de oxigênio possibilita a oxidação dos sulfetos causando expansão e fissuramento da rocha.

Na Bacia Sedimentar constatou-se com base nas análises mineralógicas, que o fenômeno da desagregação física é predominante, sendo acelerado pelos ciclos frequentes de umedecimento e secagem provocados pelas intempéries, proporcionando fissuramento intenso e desagregação rápida das rochas nas faces dos taludes, formando as camadas de "empastilhamento".

No processo de intemperização química, a água é também o elemento condutor de substâncias quimicamente ativas, como gás carbônico, ozônio e nitrogênio, além de funcionar como solubilizante de certos minerais. Este aspecto torna-se bastante importante pelo fato das rochas argilosas da Bacia serem ricas em carbonato de cálcio.

Ácidos úmicos e outras substâncias de origem vegetal e animal, são carreados dos horizontes superficiais pela água, auxiliando na intemperização biológica dos minerais constituintes das rochas sedimentares.

A água pode alterar a geometria dos taludes, através de erosões que muitas vezes contribuem de forma decisiva no processo de instabilidade. Este aspecto é muito importante devido à presença frequente de mantos de materiais granulares nos taludes da Bacia.

Nos períodos de precipitações pluviométricas intensas, as

infiltrações superficiais criam condições localizadas e temporárias de pressões de água, a maioria das vezes capazes de instabilizar os taludes. Este efeito temporário tem sido muito mais catastrófico do que as rupturas devido à elevação do N.A. estático do sub-solo.

A complexidade geológica da Bacia Sedimentar, no que se refere principalmente à diversidade litológica, aos perfis de intemperismo dos taludes e as feições geológicas marcantes, fazem com que a atuação da água como agente deflagrador do processo de instabilização tenha influência distinta para cada caso específico.

A presença de camadas intercaladas com diferentes permeabilidades, possibilita que se formem níveis d'água suspensos dentro das camadas permeáveis, gerando em consequência forças de percolação com direção paralela à superfície de contato entre esses materiais, que podem provocar a instabilização dos taludes.

A percolação de água em rochas permeáveis como arenitos e siltitos, ou através de trincas e fraturas dos folhelhos, também gera forças de percolação elevadas.

Estratos de folhelhos altamente fraturados podem conter lençóis d'água suspensos dentro do maciço.

Nos taludes rochosos as águas das infiltrações ou as águas provenientes da elevação do N.A., podem preencher as descontinuidades geológicas e exercer pressões hidrostáticas suficientes para instabilizar cunhas em

estado de equilíbrio mais precário.

Fenômeno de "piping" pode ocorrer quando o horizonte II de transição, constituído de folhelhos muito fraturados e pouco intemperizados , aflora na face do talude. A percolação de água através desses materiais pode carrear as partículas finas .

Inúmeros são os deslizamentos em massapês insaturados, envolvendo os horizontes IA, IB e IC, devido à perda de succão do material em pontos localizados da superfície crítica de ruptura. A água atua superficialmente promovendo o avanço não uniforme da frente de saturação e infiltra através das trincas de retração e fraturas, atingindo os estratos mais inferiores, fazendo com que as zonas circunvizinhas às descontinuidades, sofram maiores variações de umidade e em consequência quedas acentuadas de resistência.

São observadas também rupturas em massapês, devido à ação de sub-pressões sobre as cunhas de ruptura motivadas pela elevação do N.A. estático do sub-solo ou de níveis d'água suspensos, eventualmente encontrados nos perfis de intemperismo, principalmente no horizonte II.

### III.2.2 - Zoneamento Climático

Na Figura III.3 é mostrado o zoneamento climático do Recôncavo, que de acordo com a classificação de KOPPEN, apresenta climas do tipo Af, Am e As. A descrição desses climas é feita da forma resumida a seguir:

Clima Af - Denominado clima de selva, é chuvoso, quente e úmido, abrangendo a região mais importante da Bacia. Apresenta precipitações durante todo o ano, entre 1300 e 2300 mm, sendo mais intensas no período de março a agosto, não possuindo portanto estação seca. Estende-se para o interior na direção leste-oeste, acompanhando também o litoral na direção sul, abrangendo os municípios de Salvador, Candeias, S. Francisco do Conde, Santo Amaro, ilhas da Baía de Todos os Santos, Nazaré, Cachoeira, Muritiba, Cruz das Almas e outros.

Clima Am - Denominado clima de bosque, é quente e úmido, apresenta precipitações máximas no período de março a agosto. Na região mais para o norte possue estação seca, embora apresente um total de precipitações elevadas. Trata-se de um clima de transição entre as classificações Af e As. Ocorre nos quadrantes sudoeste e em parte da região nordestina, envolvendo os municípios de São Sebastião do Passé, Terra Nova, Amélia Rodrigues, Governador Mangabeira, indo até os limites de Feira de Santana e Alagoinhas.

Clima As - Quente e úmido, com estação seca no verão e chuvosa no inverno/outono. Desenvolve-se na faixa litorânea norte, a partir de Camaçari e abrange os municípios de Itanagra, Alagoinhas, Catú e outros.

### III.2.3 - Pluviometria

Os registros pluviométricos da Bacia Sedimentar, são feitos basicamente pelo Instituto Nacional de Meteorologia

(INM), CEPLAC e SUDENE, nas suas respectivas áreas de interesse, geralmente obedecendo a periodicidade de três vezes ao dia em horários pré-estabelecidos.

Na Figura III.4 é apresentado o mapa pluviométrico do Recôncavo e na Tabela III.3 estão os registros mensais médios das chuvas obtidos em várias estações do Recôncavo, correspondentes ao período entre 1945 e 1985.

As precipitações situam-se na faixa de 1000 a 2300 mm anuais, com diminuição gradativa à medida que se parte para a região mais interior da Bacia. As maiores precipitações são portanto registradas no litoral, no lado leste da Bacia, com valores acima de 1500 mm anuais, devido à ação dos ventos alísios do sudeste.

No período de março a agosto as chuvas são mais intensas e frequentes, principalmente nos meses de abril e maio, quando ocorre a maioria dos deslizamentos. No verão às vezes são verificadas chuvas intercaladas, com elevados índices, geralmente nos meses de novembro e dezembro, capazes de gerar também problemas de instabilização.

A exemplo de outras regiões do mundo, os deslizamentos estão estreitamente relacionados às precipitações pluviométricas. Alguns autores tem tentado estabelecer para certos locais, índices pluviométricos críticos capazes de desencadear fenômenos de instabilização, tendo VARGAS (1971) e COSTA NUNES et alii (1983), chegado respectivamente, a índices de 50 mm/h e 10 mm/h, para

taludes da Serra do Mar, sem fazer referência às chuvas antecedentes aos deslizamentos.

Segundo BRAND (1981), os deslizamentos de taludes em Hong Kong, que na maioria são constituídos de solos residuais, espessos, provenientes da intemperização de granitos, são fortemente dependentes de chuvas intensas e de curta duração, com índice crítico na faixa de 70 mm/h, sendo as chuvas antecedentes de pouca importância.

Dos estudos desenvolvidos por GUIDICINI E IWASA (1976) em oito regiões do sudeste do Brasil (Serra do Mar) e em uma região no Ceará (Serra de Maranguape), constatou-se que os deslizamentos estavam condicionados à intensidade e duração das chuvas, mostrando também em alguns casos a importância da quantidade de chuva acumulada antecedente aos deslizamentos. Os referidos autores para as regiões estudadas chegaram as seguintes conclusões principais:

- índices pluviométricos intensos, superiores a 12 % da pluviosidade média anual, em períodos de 24 a 72 horas, são capazes de por si só, desencadearem processos de instabilização nos taludes.
- índices pluviométricos, na faixa de 8 a 12 % da pluviosidade média anual, em igual período, somente provocam processos de instabilização se coincidirem em uma região com histórico de pluviosidade elevado, caso contrário dificilmente conduzem a deslizamentos, devido à baixa condutividade hidráulica do meio.

- índices pluviométricos inferiores à 8 % da pluviosidade média anual, dificilmente são capazes de provocar deslizamentos, qualquer que seja o histórico de pluviosidade da região.

Os casos catastróficos estudados pelos referidos autores estavam relacionados, em algumas situações, para uma mesma região, a índices finais de pluviosidade bastante diferentes, atribuindo-se este fato a interferência antrópica desfavorável à estabilidade, com relação a ocupação urbana desordenada, a execução de cortes viários instáveis e ao desmatamento intensivo.

O estabelecimento de índices pluviométricos críticos, à partir dos quais seriam desencadeados processos de instabilização na Bacia Sedimentar do Recôncavo, é bastante dificultado devido à complexidade geológica da região, à falta de registros correlacionados diretamente ao momento em que ocorreram as rupturas e às condições precárias de estabilidade atribuídas à ação antrópica.

A seguir não feitas algumas observações importantes para entendimento dos efeitos das precipitações com relação aos deslizamentos da Bacia.

- a maioria dos deslizamentos ocorre em taludes de corte executados pelo homem, durante ou logo após as primeiras chuvas mais intensas que sucedem essas obras; os índices pluviométricos responsáveis por esses deslizamentos, geralmente são suportáveis pelas encostas naturais e pelos taludes viários mais antigos, que obviamente já foram

submetidos a solicitações similares.

- as encostas naturais geralmente são baixas e bastante suaves, conforme mostrado na Tabela III.2, estando já adaptadas às condições de equilíbrio impostas pela Natureza; os problemas de instabilização somente são verificados em épocas de chuvas excepcionais, afetando principalmente as encostas em condições mais críticas de equilíbrio; tem-se constatado com certa frequência nestas situações, deslizamentos de mantos de colúvio recobrindo as encostas.
- as chuvas antecedentes aos deslizamentos exercem influência muito grande na instabilização dos taludes constituídos predominantemente de solos argilosos expansivos (massapê), devendo-se este fato ao aumento prévio da umidade do solo e ao consequente avanço mais rápido da frente da saturação durante as precipitações intensas.
- nos taludes com perfis constituídos de camadas granulares permeáveis, simplesmente apoiadas ou intercaladas com camadas argilosas de baixa permeabilidade, ou nas demais situações donde o mecanismo de instabilização é devido principalmente à formação de uma rede de fluxo paralela a superfície de contato entre esses materiais com permeabilidade diferentes, as chuvas intensas capazes de elevar a espessura da rede de percolação, são responsáveis pela instabilização dos taludes, sendo as chuvas antecedentes de menor

importância, devido a capacidade drenante e a elevada evaporação da água através desses materiais.

- nos taludes rochosos constituidos basicamente de folhelhos muito fraturados, com N.A. pouco profundo, a instabilização é devida à infiltração das águas precipitadas, provocando elevação rápida do N.A dentro do maciço; no caso de folhelhos medianamente a pouco fraturados, a água infiltrada preenche as fraturas, gerando pressões hidrostáticas sobre as cunhas, estando condicionada a ocorrência desse fenômeno quando o volume de água infiltrada é superior à capacidade drenante do maciço, daí a importância das chuvas intensas e de longa duração.

A seguir são citados alguns casos mais recentes, fazendo-se uma tentativa de correlacionamento dos deslizamentos com os índices pluviométricos representativos das áreas afetadas.

- Rodovia Canal de Tráfego: deslizamentos generalizados em taludes da formação S.Sebastião, constituídos basicamente de camadas de areias siltosas simplesmente apoiadas em massapés ou de camadas sub-paralelas de massapés intercaladas nos maciços de areias siltosas; alguns deslizamentos envolveram grandes volumes, com taludes com altura de até 50,0 m; as rupturas ocorreram nos meses de abril e maio de 1975, logo após a conclusão dos serviços de terraplenagem, quando foram registradas as primeiras chuvas intensas, capazes de elevar a altura piezométrica

dos lençóis d'água suspensos formados dentro das camadas granulares permeáveis; foram registrados índices mensais respectivamente de 560,4 mm e 737,9 mm, com índice crítico horário médio de 5,0 mm durante 12 horas consecutivas em alguns dias do mês; as principais características das chuvas responsáveis por esses deslizamentos, obtidas da estação pluviométrica de Salvador (INM), são citadas a seguir:

Mês	Precipitação Mensal	Precipitações Críticas
abril 1975	737,9 mm	05/04/75 - 137,8 mm/24 hrs
		06/04/75 - 55,6 mm/12 hrs
		17/04/75 - 119,0 mm/24 hrs
		24/04/75 - 70,0 mm/12 hrs
		27/05/75 - 74,1 mm/12 hrs
maio 1975	560,4 mm	09/05/75 - 64,0 mm/12 hrs
		14/05/75 - 75,6 mm/12 hrs

- Vias Internas do Porto de Aratu: deslizamentos generalizados em taludes das formações do Grupo Ilhas, envolvendo rupturas superficiais de massapés provenientes da intemperização das rochas argilosas e rupturas profundas de grandes volumes em folhelhos fraturados; esta região estava bastante afetada pela presença de falhas geológicas, sendo agravadas as condições de estabilidade devido aos cortes realizados na base das encostas, para implantação da rede viária; as chuvas que deflagraram os deslizamentos ocorreram durante a execução da obra, em maio e junho de 1978; em setembro de 1978 e janeiro de

1979 verificou-se a reativação de um dos deslizamentos, atribuindo-se no primeiro caso à retomada dos serviços de escavação e no segundo caso de acordo com medições citadas por GUIMARÃES (1984), às precipitações intensas registradas em dois dias consecutivos com índices respectivos de 81 e 70 mm / 24 hrs; as rupturas iniciais mais importantes foram deflagradas com índice mensal de 458,3 mm e com índices críticos horários de 8,9 mm durante um período de 24 horas e de 7,0 mm durante 12 horas, também em dois dias consecutivos; as principais características das chuvas responsáveis pelo início dos deslizamentos, com base nos dados da estação pluviométrica de Salvador (INM), são citadas a seguir:

Mês	Precipitação Mensal	Precipitações Críticas
maio 1978	357,0 mm	04/05/78 - 93,4 mm/24 hrs 25/05/78 - 51,6 mm/12 hrs
junho 1978	458,3 mm	02/06/78 - 212,8 mm/24 hrs 03/06/78 - 84,1 mm/12 hrs

- Adutora Pedra do Cavalo: deslizamentos generalizados ao longo dos cortes para implantação da estrada de serviço e das valas profundas para instalação dos tubos enterrados da Adutora; a obra atravessou as formações expansivas dos Grupos Brotas, Santo Amaro, Ilhas e Massacará, encontrando-se dessa forma taludes com perfis os mais distintos possíveis, tendo-se detectado com maior frequência rupturas superficiais em massas; as chuvas

responsáveis pelos deslizamentos ocorreram em abril e maio de 1985, respectivamente com índices pluviométricos mensais de 429,5 mm e 440,5 mm, atingindo-se índices horários de baixa a média intensidade, em vários dias do mês, com valor médio de 3,0 mm em 12 horas; chuvas críticas mais intensas também foram registradas em dias intercalados com índice horário em torno de 5,9 mm durante 18 horas; os dados pluviométricos à seguir são provenientes da estação da CEPLAC, situada nas proximidades dos municípios de Santo Amaro e Amélia Rodrigues.

<u>Mês</u>	<u>Precipitação Mensal</u>	<u>Precipitações Críticas</u>
abril 1985	429,5 mm	22/04/85 - 34,0 mm/12 hrs
		23/04/85 - 34,4 mm/12 hrs
		24/04/85 - 40,0 mm/06 hrs
		26/04/85 - 42,8 mm/12 hrs
		27/04/85 - 30,5 mm/12 hrs
maio 1985	440,5 mm	06/05/85 - 130,0 mm/18 hrs
		08/05/85 - 82,0 mm/18 hrs

- Malha Viária da Bacia Sedimentar: em maio de 1989 ocorreram chuvas contínuas de média intensidade, com dias intercalados de elevada pluviosidade, perfazendo um índice mensal de 750,4 mm, considerado excepcional para a região; em decorrência dessas chuvas, foram constatados ao longo da malha viária, abrangendo todas as formações expansivas da Bacia, deslizamentos de algumas encostas naturais e de inúmeros taludes de cortes, incluindo aqueles executados já há bastante tempo; os taludes foram submetidos a

condições de pressões de água, devido às infiltrações efetivas que se processaram, dificilmente antes experimentadas, provocando o desencadeamento de processos generalizados de instabilização; foram registrados índices horários com valor médio de 2,6 mm durante 24 horas em vários dias do mês, com chuvas intensas intercaladas com índices na faixa de 7,0 mm durante 12 horas, em dois dias consecutivos; os dados pluviométricos a seguir citados, foram obtidos da estação da CEPLAC, anteriormente referida, bastantes representativos dos locais onde ocorreram os deslizamentos mais importantes.

Mês	Precipitação Mensal	Precipitações Críticas
maio 1989	750,4 mm	09/05/89 - 97,0 mm/12 hrs
		10/05/89 - 65,0 mm/12 hrs
		17/05/89 - 64,0 mm/24 hrs
		18/05/89 - 61,4 mm/24 hrs
		19/05/89 - 62,3 mm/24 hrs

A análise global das observações e dos dados pluviométricos, permite concluir em termos gerais o seguinte: os deslizamentos mais generalizados sempre ocorrem em períodos com índices pluviométricos mensais superiores a valores na ordem de 400 mm; índices pluviométricos mensais acima de 700 mm tem causado problemas catastróficos de deslizamento; dependendo do Sub-Grupo em que se enquadra o talude, conforme o sistema de classificação proposto no Capítulo VI, chuvas antecedentes contínuas de baixa intensidade na ordem de

2,5 mm por hora intercaladas com chuvas intensas em alguns dias com índices horários acima de 5 mm, têm provocado também rupturas.

### III.2.4 - Temperatura

A análise da Tabela III.4, referente à variação das médias de temperatura mensal e anual da Bacia, obtidas nas localidades de Salvador, Camaçari, São Sebastião do Passé, São Francisco do Conde, Cachoeira e Cruz das Almas, indica uma variação muito pequena nos valores médios mensais, de 20,6 °C (Camaçari e Cruz das Almas) a 28,0 °C (Salvador) e anual de 23,2 °C (Cruz das Almas) a 25,6 °C (Salvador).

As temperaturas médias não apresentam grandes variações, devendo-se isto à baixa latitude e à pequena variação de altitude.

A área diretamente banhada pelo Atlântico goza ainda da influência das brisas marinhas, que se fazem notar na inversão da temperatura no continente ao amanhecer e no anoitecer.

Os meses mais quentes são os compreendidos entre novembro e março, enquanto que as temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de junho e setembro.

### III.2.5 - Evaporação

A evaporação é muito acentuada e varia ao longo do Recôncavo, registrando-se grande diferença de

intensidade e duração entre os pontos situados nas ilhas e nos continentes.

Entre os elementos de diversificação da intensidade de evaporação, pode-se citar a nebulosidade e a frequência dos ventos dos diferentes setores. Observa-se que os períodos de menor intensidade de evaporação correspondem aos de maior ocorrência de nebulosidade e vice-versa.

Os dados da evaporação total em tubo "Piché", referem-se as estações instaladas nos municípios de Salvador, Camaçari, São Sebastião do Passé, Cachoeira e Cruz das Almas. Os registros indicam uma variação média mensal de 37,6 mm (Cachoeira) a 219,5 mm (Cruz das Almas) e anual de 783,0 mm (São Sebastião do Passé) a 1953,9 mm (Salvador), conforme mostrado na Tabela III.5.

### III.2.6 - Nebulosidade

Além de ser maior nos meses do inverno, a nebulosidade apresenta indicadores com variação (faixa 0 - 10) mensal que vai de 4,7 a 6,7 com amplitude de 2,3 para o continente e 1,3 para as ilhas. O mês de janeiro é o que apresenta menor índice, enquanto os meses de maio a julho, são os de maiores índices.

### III.2.7 - Direção e Velocidade dos Ventos

Predominam na área os ventos alísios de sudeste, provenientes da frente equatorial atlântica, com velocidade moderada no interior e mais intensa no litoral, variando entre 3,0 a 5,0 m/s.

### III.2.8 - Umidade Relativa

A Bacia apresenta umidade relativa média mensal, em torno de 83 %. No período de março a agosto ocorrem as médias mais elevadas, em torno de 85 %, enquanto de novembro a fevereiro os menores índices, com valor médio de 77 %.

### III.2.9 - Insolação

Os meses de maio e junho indicam os menores índices, em torno de 180 horas e o período compreendido entre novembro e janeiro os mais altos, em torno de 240 horas.

## III.3 - VEGETAÇÃO

Na Bacia Sedimentar do Recôncavo são encontrados basicamente dois tipos de vegetação, denominados de Vegetação Litorânea e Mata Pluvial.

Na maior parte da Bacia as interferências antrópicas seculares alteraram de tal modo a paisagem florestal, que a cobertura vegetal nativa foi quase toda descaracterizada.

A Mata Pluvial, que era predominante na Bacia, constituída por uma floresta tropical úmida, foi devastada e substituída pelo aproveitamento agrícola. Os remanecentes dessa floresta, são hoje somente encontrados em alguns locais isolados.

Devido às condições do solo, clima, relevo e proximidade de Salvador, associadas a outros aspectos históricos e

culturais, a região foi e continua sendo bastante utilizada para cultivo de cana-de-açúcar, cacau, banana, bambu e para plantio de capim para pasto.

Dentre as culturas, destaca-se a de cana-de-açúcar, implantada em solos massapês, resultantes da intemperização das rochas argilosas dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

A cobertura vegetal, de forma geral, favorece a estabilidade dos taludes, reduzindo a ação dos agentes climáticos sobre o maciço. Este aspecto torna-se muito importante nos taludes da Bacia Sedimentar, pela presença dos solos e das rochas expansivas muito sensíveis às variações de umidade e pela ocorrência abundante dos solos granulares, facilmente erodíveis pelas águas de chuva.

De acordo com PRANDINI et alii (1977), BARKER (1986) e WU (1987), a cobertura vegetal intercepta e protege os taludes da ação direta dos raios solares, ventos e chuvas, retém grande volume de água precipitada que posteriormente é evaporada; remove água do subsolo através da evapo-transpiração; facilita o escoamento hipodérmico; reduz a erosão dos maciços e contribue no aumento da resistência ao cisalhamento dos solos, através da parcela de resistência do sistema radicular e pela geração de forças de succão devido a redução de umidade.

As infiltrações efetivas das águas das precipitações pluviométricas, responsáveis diretas pela deflagração dos mecanismos de instabilização dos taludes, dependem

principalmente da cobertura vegetal e do perfil de intemperismo do talude, com relação a litologia e aos aspectos estruturais.

As encostas naturais da Bacia Sedimentar geralmente têm pequena a média altura, são extensas e possuem inclinações suaves. Na sua maioria acham-se recobertas pelas culturas típicas da região, apresentando condições razoáveis de estabilidade. Em alguns locais específicos, são encontradas encostas naturais relativamente íngremes, estáveis, densamente recobertas por vegetação nativa de médio a grande porte. A estabilidade atípica dessas encostas pode ser atribuída em parte, à presença da vegetação.

Os cortes expõem nas superfícies dos taludes os horizontes dos diversos perfis de intemperismo, que são encontrados na Bacia Sedimentar, conforme será mostrado em detalhes no Capítulo IV. Estes materiais têm características físicas e de fertilidade bastante variáveis, que aliadas a fatores geométricos, tais como altura e inclinação dos taludes, impõem limitações à formação das condições naturais e essenciais para um adequado recobrimento vegetal. Torna-se recomendável nestas obras, com base em inspeções de campo, agrupar os taludes similares, fazendo em seguida coleta dos materiais constituintes dos horizontes, para conhecimento das condições nutrientes e dos índices de acidez, para avaliação das necessidades de correção e indicação da vegetação mais adequada e disponível na região.

A atuação da vegetação com referência à estabilidade dos taludes da Bacia Sedimentar, necessita de estudos mais aprofundados. No presente trabalho, são apresentadas à seguir, as principais observações oriundas da inspeção de vários taludes viários dessa região, plantados já há algum tempo.

- a cobertura vegetal quando bem aplicada, tem demonstrado sua eficiência na redução dos deslizamentos superficiais em massapês, no combate à erosão dos solos granulares (areias siltosas e siltes arenosos) e na proteção contra variações excessivas da umidade, responsáveis pela desagregação superficial das rochas argilosas.
- é importante preservar sempre a vegetação existente, já enraizada no topo dos taludes.
- os recobrimentos vegetais devem ser feitos, logo após os serviços de terraplenagem, evitando a exposição prolongada das superfícies dos taludes; a vegetação quando plantada nos períodos de estiagem, com irrigação periódica, desenvolve-se melhor do que nos períodos chuvosos, devido à perda dos serviços com os frequentes deslizamentos superficiais causados pelas chuvas.
- a deficiência dos serviços de manutenção, com relação à replantio e irrigação, tem prejudicado sensivelmente o desenvolvimento normal da cobertura vegetal.
- os taludes em solos granulares geralmente apresentam desenvolvimento vegetativo deficiente, ocasionando erosões

expressivas, atribuindo-se este fato aos seguintes aspectos: falta de enriquecimento dos solos com fertilizantes, falta de correção da acidez e aplicação deficiente de terra vegetal; Brachiara é o tipo de graminea que tem apresentado os melhores resultados nesses solos, devido a sua pouca exigência quanto a fertilidade, sendo capaz de resistir a longos períodos de estiagem, além de apresentar um sistema radicular muito denso, servindo como elemento de fixação da superfície do talude e consequentemente evitando erosões laminares e deslizamentos superficiais; nos taludes mais íngremes e altos, as dificuldades enfrentadas são maiores, constituindo-se como solução mais viável, o recobrimento do talude com placas de "Capim de Burro" ou Gengibre, trazendo unidas ao sistema radicular, camadas de solos argilosos, capazes de manter o recobrimento vegetal durante um período que facilite a penetração das raízes na superfície dos taludes.

- os taludes em massapês, devido as suas características físicas e de fertilidade, permitem o plantio das mais diversas espécies de gramíneas e leguminosas; a inspeção mostrou a existência de uma concorrência natural entre inúmeras variedades disponíveis e já adaptadas às condições climáticas do Recôncavo; há uma grande predominância de Brachiara, podendo-se utilizar outras espécies tradicionais da região, como Angola, Sempre Verde e Colonião.

- nos taludes em folhelhos, o problema do recobrimento

é dificultado principalmente pela dureza dessas rochas, exigindo uma técnica especial de plantio e utilização de espécies adequadas; o Brachiara e o Gengibre são os tipos que melhor se adequam, devido a resistência e a espessura do sistema radicular.

PERÍODO	ESPESSURA MÁX. (m)	UNIDADE LITO-ESTRATIGRÁFICA		SÍMBOLO
Quaternário	34	Sedimentos de Praia e Aluviões		Qd Sedimentos
Terciário	50	Formação Barreiras		Tb
	50	Formação Marizal		Km
	3200	Grupo Massacará	Formação S. Sebastião	Kss
Cretáceo Inferior	2500	Grupo Ilhas	Formação Pojuca Formação Marfim	Kis
	1400	Grupo Stº Amaro	Formação Candeias Formação Itaparica	Kc Ki
Jurássico Inferior	1200	Grupo Brotas	Formação Sergi Formação Aliança	Js Ja
Pré-Cambriano Indiferenciado	-	Embasamento Cristalino		pe
				Bochas igneas-meta mórficas

TABELA III.1 - UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS DA BACIA SEDIMENTAR DO RECONCAU

GRUPO / FORMAÇÃO	DESCRÍÇÃO SUCINTA DO PERFIL DA ENCOSTA	VALORES REPRESENTATIVOS DAS ENCOSTAS NATURAIS		
		INCLINAÇÃO MÉDIA (o)	ALTURA (m)	COTA (m)
Não diferenciado	Perfis típicos de intemperismo de folhelhos constituídos por uma camada superficial de argila siltosa impregnada de mat. orgânica (Hor.IA), uma camada de solo argilo-siltoso maduro (Hor.IB), camadas de transição denominadas Hor.IC e Hor.II e dos folhelhos fraturados do Hor. III.	6 5 5 3 5 5 9	4 7 10 13 28 11 8	76 88 49 13 31 21 11
F. Candeias (G. Stº Amaro) e F. Marfim (G. Ilhas)	Encostas predominante em folhelhos (Hor.III) tendo no topo camadas pouco espessas dos Hor. IA e IB, camadas de transição dos Hor.IC e II.	15 13 13 19 14	23 38 25 47 26	73 52 36 61 39
F. Marfim (G. Ilhas)	Perfis típicos de intemperismo de folhelhos constituídos por uma camada superficial de argila siltosa impregnada de mat. orgânica (Hor.IA), uma camada de solo argilo-siltoso maduro (Hor.IB), camadas de transição denominadas Hor.IC e Hor.II e dos folhelhos fraturados do Hor. III.	3 5	12 29	84 87
	Encostas ingremes constituídas de rochas tipo arenito.	18 41 27 22 25	38 25 29 77 65	41 41 59 108 88
Não diferenciado	Perfis típicos de intemperismo de folhelhos constituídos por uma camada superficial de argila siltosa impregnada de mat. orgânica (Hor.IA), uma camada de solo argilo-siltoso maduro (Hor.IB), camadas de transição denominadas Hor.IC e Hor. II e dos folhelhos fraturados do Hor. III.	4 8 8 4 4 7 7 9	28 15 12 23 15 15 23 22	98 82 86 91 79 82 88 75
F. Pojoca (G. Ilhas)	Encostas predominante em folhelhos (Hor.III) tendo no topo camadas pouco espessas dos Hor. IA e IB, camadas de transição dos Hor.IC e II.	19	83	102
F. Candeias (G. Stº Amaro)	Perfis típicos de intemperismo de folhelhos constituídos por uma camada superficial de argila siltosa impregnada de mat. orgânica (Hor.IA), uma camada de solo argilo-siltoso maduro (Hor.IB), camadas de transição denominadas Hor.IC e Hor. II e dos folhelhos fraturados do Hor. III.	7 4 5 4	49 12 28 18	71 79 86 85
F. S. Sebastião (G. Massacara)	Maciços constituídos de sedimentos não consolidados arenoso e silítico, com intercalações de camadas de argilas siltosas (massapés).	21 9 11 6 5 8 15	57 58 27 12 11 22 28	102 95 71 51 51 52 55

TABELA III.2 - VALORES REPRESENTATIVOS DAS INCLINAÇÕES, ALTURAS E COTAS ALTIMETRICAS DE ENCOSTAS NATURAIS ESTÁVEIS DA BACIA SEDIMENTAR DO RECONCAU BAIANO

ANOS	JAN	FEU	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1945	36,3	38,6	4,5	306,2	53,6	193,9	156,1	62,2	193,5	278,2	37,7	94,7	1.660,2
1946	47,0	10,6	12,2	152,0	190,7	222,7	122,7	232,4	44,2	12,8	89,2	141,9	1.278,2
1947	110,2	19,1	274,2	346,7	235,0	199,1	192,2	88,5	76,4	93,7	589,3	49,7	2.266,1
1948	47,1	10,1	163,1	272,4	185,5	308,2	209,9	147,8	92,7	73,0	114,4	163,5	1.787,7
1949	0,0	75,2	26,4	246,6	152,6	110,4	115,1	115,4	158,0	78,0	167,9	43,9	1.271,5
1950	32,4	45,7	88,6	94,3	135,7	106,2	182,8	81,2	25,5	121,9	113,8	98,2	1.126,3
1951	20,4	3,5	43,4	387,9	460,5	205,2	173,6	83,7	81,6	12,1	55,5	180,0	1.707,4
1952	9,0	2,6	226,2	50,1	714,3	105,3	264,0	151,3	9,8	79,0	58,0	385,8	2.055,4
1953	33,9	12,5	67,3	240,9	141,2	139,1	123,7	123,3	187,0	154,0	103,6	181,8	1.508,5
1954	88,3	55,9	90,6	322,8	199,5	76,0	129,8	204,9	21,2	1,5	51,0	162,4	1.403,9
1955	117,5	192,4	63,8	249,6	123,6	73,9	144,5	74,0	123,2	49,5	298,7	72,3	1.583,0
1956	27,8	49,3	162,5	201,9	386,7	145,5	351,1	252,8	81,7	79,3	473,5	69,2	2.281,3
1957	187,7	53,0	250,1	275,0	394,1	142,5	198,5	111,7	10,7	80,2	29,1	14,8	1.777,7
1958	71,2	210,0	229,3	156,8	343,4	256,2	231,9	39,2	116,8	87,0	122,1	57,3	1.921,2
1959	99,0	39,9	148,3	94,3	229,9	275,0	196,9	104,0	72,7	110,8	91,5	46,4	1.511,7
1960	124,0	66,2	411,5	352,4	422,3	269,4	198,4	88,5	65,1	34,2	201,8	4,9	2.229,7
1961	15,0	11,4	15,0	35,7	96,3	233,4	76,2	54,9	2,7	37,2	9,6	32,4	619,8
1962	45,0	6,6	158,6	183,9	258,0	235,8	167,5	114,4	28,5	85,2	196,9	48,3	1.529,5
1963	79,1	240,7	83,7	176,9	607,9	135,2	153,2	66,3	27,2	5,7	72,7	447,2	2.095,8
1964	277,7	123,6	230,3	484,1	797,5	154,2	352,2	271,2	170,9	278,8	256,7	95,6	3.493,5
1965	151,4	98,7	24,1	425,5	207,6	169,4	153,7	93,8	44,0	117,1	151,2	14,7	1.651,2
1966	17,6	167,6	106,5	282,3	702,2	188,6	205,2	184,6	178,0	131,2	108,3	70,3	2.334,4
1967	1,6	67,7	81,8	256,5	367,9	145,2	113,7	100,2	56,4	51,9	125,9	202,9	1.541,7
1968	124,1	228,3	395,8	173,5	427,2	338,8	97,2	144,9	87,2	59,1	143,0	136,6	2.405,7
1969	88,2	178,2	400,9	221,7	677,5	287,1	115,7	67,5	57,3	28,2	57,4	238,6	2.402,3
1970	267,2	221,2	180,1	112,3	186,8	232,8	477,0	110,5	50,2	48,9	322,4	2,8	2.012,2
1971	62,1	41,9	53,3	159,2	330,1	197,8	211,9	54,3	16,1	66,5	21,7	12,2	1.227,1
1972	139,2	75,7	62,0	101,7	245,1	210,6	70,0	117,7	72,0	40,1	0,1	57,2	1.197,4
1973	33,0	93,0	149,0	129,0	358,0	282,0	127,0	91,0	198,0	224,0	248,0	49,0	1.981,0
1974	200,0	239,0	129,0	326,0	291,0	230,0	171,0	104,0	57,0	36,0	237,0	64,0	2.084,0
1975	111,0	81,0	179,0	351,0	373,0	164,0	207,0	144,0	178,0	39,0	15,0	88,0	1.948,0
1976	22,0	194,0	52,0	105,0	94,0	92,0	182,0	67,0	36,0	204,0	115,0	37,0	1.120,0
1977	167,0	121,0	34,0	216,0	258,0	149,0	76,0	40,0	104,0	249,0	38,0	212,0	1.656,0
1978	68,0	69,0	238,0	221,0	249,0	138,0	75,0	84,0	75,0	26,0	70,0	129,0	1.442,0
1979	149,0	87,0	126,0	55,0	114,0	189,0	93,0	46,0	34,0	9,0	109,0	111,0	1.122,0
1980	171,0	157,0	54,0	49,0	117,0	134,0	91,0	89,0	65,0	48,0	210,0	49,0	1.234,0
1981	24,0	45,0	249,0	206,0	97,0	103,0	203,0	48,0	12,0	18,0	33,0	53,0	1.091,0
1982	24,3	101,8	88,9	311,4	241,7	188,6	88,4	57,5	244,6	106,1	4,6	21,8	1.479,7
1983	98,0	105,7	153,1	142,4	47,7	108,8	64,3	139,0	57,7	94,4	127,3	27,3	1.166,3
1984	25,4	28,4	222,1	374,3	187,4	89,1	137,4	49,8	112,7	68,8	62,3	21,5	1.379,7
1985	68,0	85,0	64,0	430,0	441,0	166,0	275,0	158,0	45,0	81,0	353,0	161,0	2.327,0
MEDIAS	89,7	91,3	141,7	226,3	296,1	183,3	168,2	109,3	82,2	84,9	138,7	98,8	1.705,

TABELA III.3 - PRECIPITAÇÕES (mm) MEDIAS MENSais DO RECBNAU BAIANO, NO PERíODO ENTRE

1945 E 1985

LOCALIDADE	PERÍODO	VARIACAO DA TEMPERATURA (°)	
		MENSAL	ANUAL
SALVADOR	1967 - 1985	23,0 - 28,8	25,0 - 25,6
CAMACARI	1978 - 1985	20,6 - 27,8	24,2 - 24,8
S. FRANCISCO DO CONDE	1972 - 1978	20,7 - 27,8	23,8 - 24,5
S. SEBASTIAO DO PASSE	1972 - 1978	21,7 - 27,1	23,7 - 24,8
CACHOEIRINHA	1974 - 1978	20,9 - 25,8	23,7 - 24,9
CRAZ DAS ALMAS	1976 - 1985	20,6 - 26,8	23,2 - 24,1

fonte: CEPLAC - Min. Agricultura

TABELA III.4 - VARIACAO DA TEMPERATURA NO RECONCAU

LOCALIDADE	PERÍODO	VARIACAO DA EVAPORACAO (mm)	
		MENSAL	ANUAL
SALVADOR	1976 - 1985	32,1 - 126,9	993,8 - 1953,9
CAMACARI	1978 - 1985	51,2 - 189,9	1038,2 - 1492,1
S. SEBASTIAO DO PASSE	1972 - 1978	37,7 - 168,5	783,8 - 1141,1
CACHOEIRINHA	1972 - 1978	37,6 - 174,1	943,8 - 1151,7
CRAZ DAS ALMAS	1976 - 1985	46,1 - 219,5	1059,1 - 1531,4

fonte: CEPLAC - Min. Agricultura

TABELA III.5 - VARIACAO DA EVAPORACAO NO RECONCAU

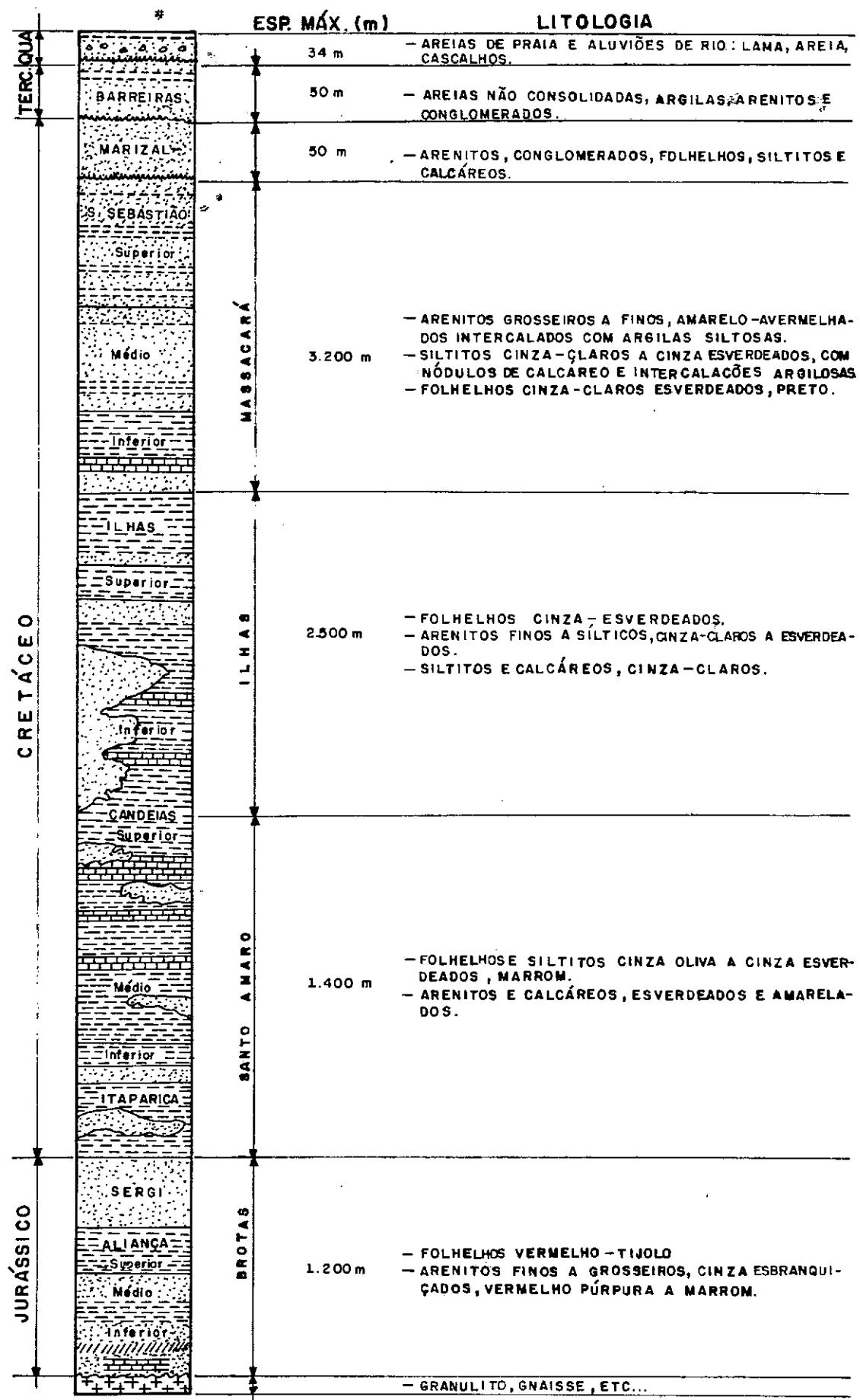


Fig. III.1 - Unidades lito-estratigráficas da coluna sedimentar do Recôncavo.

Base: COPEC

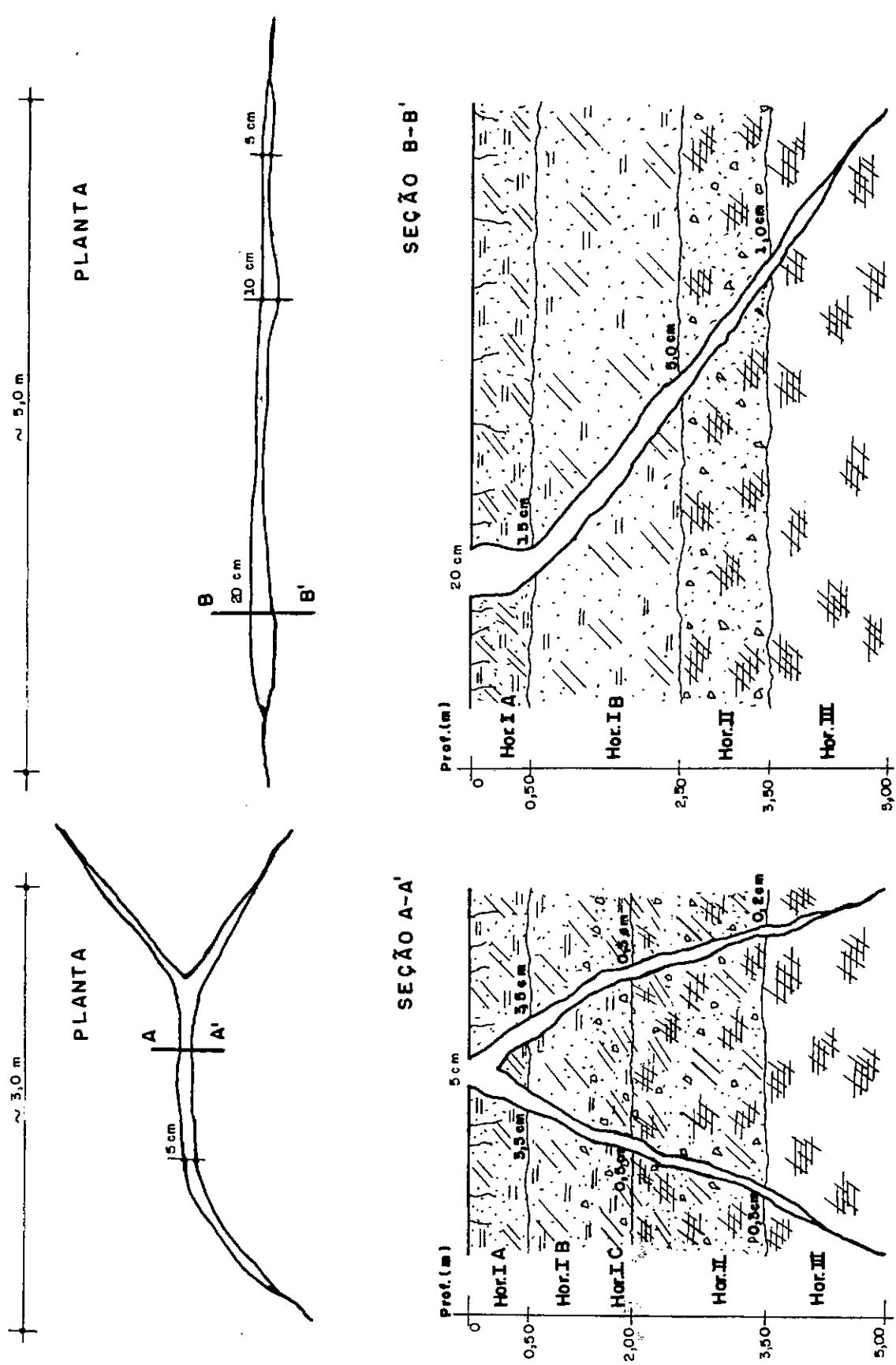


Fig.III.2 - Esquema de algumas trincas principais de retração desenvolvidas em massapês.

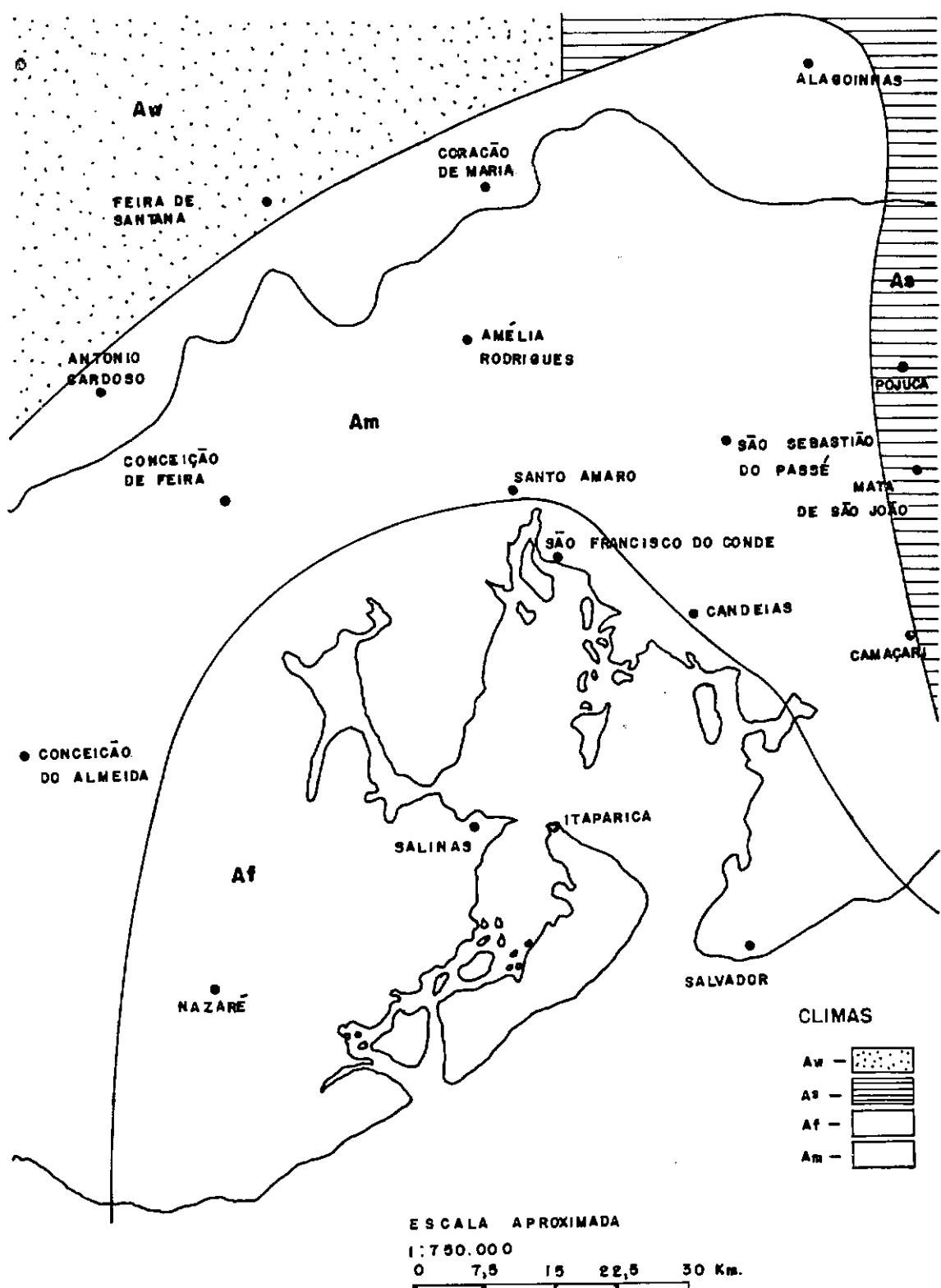


Fig. III.3 – Mapa Climático do Recôncavo

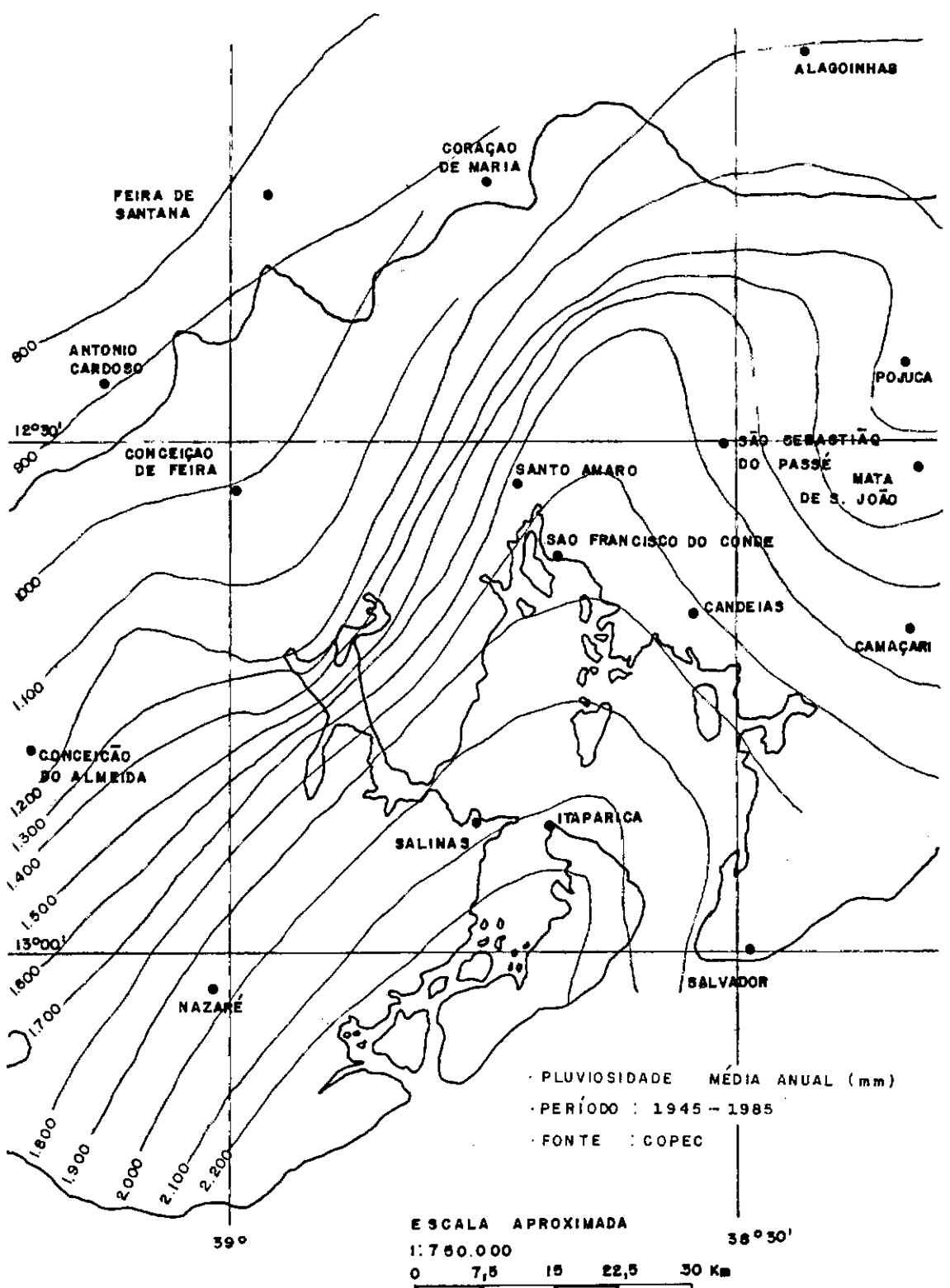


Fig.III.4 – Mapa Pluviométrico do Recôncavo

## CAPÍTULO IV - PERFIS TÍPICOS DE INTEMPERISMO DOS TALUDES

Os perfis de intemperismo dos taludes encontrados na Bacia Sedimentar do Recôncavo foram cadastrados pelo autor com base em levantamentos geológicos detalhados, na inspeção superficial de diversos taludes, assim como na análise de inúmeros furos de sondagem.

Constatou-se que dentro de uma determinada formação ocorriam de forma repetitiva tipos similares de perfis de intemperismo. A diferenciação básica entre os perfis dependia do grau de intemperismo dos horizontes e da maneira como as camadas granulares e argilosas estavam dispostas.

A ação do intemperismo é um fator preponderante na redução dos parâmetros de resistência dos horizontes do sub-solo, aumentando com tempo a probabilidade de instabilização dos taludes.

### IV.1 - HORIZONTES DE INTEMPERISMO

A classificação dos horizontes de intemperismo utilizada neste trabalho, obedeceu basicamente a adotada no excelente trabalho de DEERE e PATTON (1971), aplicando-se bem às formações expansivas da Bacia Sedimentar do Recôncavo, com exceção dos sedimentos da formação S. Sebastião.

#### IV.1.1 - Horizonte IA

Constitue-se de solos residuais maduros (massapês) impregnados de matéria orgânica, com coloração escura característica. Geralmente tem espessura entre 0,20 e 1,00 m, sendo 0,50 m um valor médio representativo. É uma camada de eluviacão caracterizada pela lixiviação de material fino em suspensão ou solução, para o horizonte IB.

#### IV.1.2 - Horizonte IB

É um horizonte de iluviacão, formado de solos residuais maduros (massapês), homogêneos, altamente plásticos, com elevado teor de material na fração argila. Possue coloração variegada, predominando amarela, verde, marrom e cinza, apresentando quase sempre na parte mais superficial, manchas vermelhas. A coloração normalmente reflete o estágio de evolução do intemperismo dos folhelhos. Em profundidade, se aproximando do horizonte IC, os materiais tendem a ter coloração cinza ou marrom, similar à da rocha que lhe deu origem.

O relevo e a posição do N.A. exercem muita influência na definição da espessura desse horizonte. No topo dos taludes situados em regiões elevadas a espessura desses solos é muito pequena, geralmente inferior a 1,0 m. Ao longo dos taludes apresentam espessuras entre 1,0 a 5,0 m, sendo 3,0 m um valor médio bastante representativo. Nos locais de baixada a camada de solo é mais espessa, devido

às contribuições de colúvios e aluviões. Os perfis do subsolo nestas regiões de baixadas, são muito erráticos, com intercalações frequentes de materiais granulares na massa de solos argilosos.

Os horizontes IA e IB geralmente sofrem maiores variações sazonais de umidade, ficando submetidos a ciclos mais intensos de umedecimento e secagem. Essas camadas quando insaturadas, desenvolvem succões elevadas, apresentando na parte superficial um reticulado intenso de trincas de retração. Verifica-se normalmente um sistema principal de trincamento, com trincas mais espaçadas e profundas, estendendo-se até o horizonte II de transição. Quando umedecidos os materiais desses horizontes expandem, sofrendo em consequência uma queda acentuada da resistência ao cisalhamento, tornando os taludes bastante susceptíveis às rupturas.

As descontinuidades estruturais das rochas argilosas, dificilmente são notadas nos horizonte IA e IB e praticamente não influenciam os deslizamentos que ocorrem envolvendo os massapês desses horizontes.

#### IV.1.3 - Horizonte IC

Este horizonte de transição, também denominado de saprolito, apresenta pequenos blocos de folhelhos não intemperizados dentro da massa predominante de massapê. O comportamento do horizonte ainda é comandado pela matriz argilosa de massapê. A sua delimitação no perfil com o

horizonte II, é feita com certa dificuldade. Geralmente é um horizonte pouco desenvolvido, tendo espessura entre 0,5 e 1,5 m, aonde já podem ser detectadas as estruturas herdadas da rocha matriz. Na formação Aliança apresentam-se normalmente com espessuras superiores.

#### IV.1.4 - Horizonte II

Pela dificuldade de separação no campo, os horizontes IIIA e IIIB foram agrupados com a denominação de horizonte II. É constituído de folhelhos fraturados, pouco intemperizados, sendo um horizonte de transição com comportamento predominante de rocha.

Os folhelhos apresentam um padrão de fraturamento bastante intenso, onde os blocos de rocha tem geralmente forma prismática, cuja dimensão maior é geralmente inferior a 10 cm. O tamanho dos blocos é definido pelos sistemas dos planos de fraturamento e pelo acamamento do material. Os planos de fraturamento geralmente apresentam-se oxidados, configurando-se o fluxo frequente de água que ocorre através dessas descontinuidades. Os blocos de folhelhos mantém sua composição inalterada, enquanto os materiais intemperizados são decorrentes da transformação parcial ou total dos constituintes químicos e mineralógicos menos estáveis da rocha "in situ".

O estado de fraturamento dos folhelhos, é atribuído principalmente ao alívio das pressões geostáticas, devido a erosão das camadas ao longo do tempo geológico.

Geralmente atinge espessura entre 3,0 e 5,0 m, sendo difícil a delimitação da sua passagem para o horizonte III. Possue permeabilidade, em vários casos, maior do que a dos demais horizontes, formando assim lençóis d'água suspensos, em decorrência da acumulação das águas de infiltração.

Os materiais constituintes deste horizonte, mantém praticamente a coloração e as estruturas herdadas da rocha de origem. As descontinuidades, às vezes comandam o processo de instabilização do talude. A exposição deste horizonte nos cortes nas faces dos taludes, pode provocar também um processo de erosão rápida, devido ao carreamento das partículas finas pelas águas de percolação.

#### IV.1.5 - Horizonte III

Na maioria dos taludes este horizonte é constituído de folhelhos fraturados. A ação do intemperismo sobre as rochas é muito pequena, até mesmo sobre os seus constituintes menos estáveis, como o feldspato e a mica.

A percolação das águas de infiltração, se dá pelas feições geológicas, principalmente através do sistema de fraturamento sub-vertical, proporcionando a sua intercomunicação em profundidade com o lençol freático estático.

A elevada condutividade hidráulica desse horizonte, pode ser constatada nas prospecções e nos ensaios de campo

efetuados nos folhelhos dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, durante a construção da Adutora Pedra do Cavalo. Foram registradas perdas excessivas de água de circulação nas sondagens, assim como absorção elevada da vazão da bomba nos ensaios de perda d'água.

Os folhelhos normalmente apresentam camadas delgadas (milimétricas) de materiais granulares (siltos e areias) drenantes, intercaladas nos planos de acamamento, responsáveis muitas vezes pelas constantes surgências de água nas faces dos taludes.

#### IV.1.6 - Colúvios

Geralmente os colúvios encontrados na Bacia são muito heterogêneos, constituídos por uma matriz argilosa (massapê) contendo materiais granulares e fragmentos de folhelhos de pequenas dimensões, sem qualquer seleção ou estruturação, a não ser aquela definida pelo processo de acumulação casual. Os materiais do corpo dos colúvios são provenientes da ação conjugada do intemperismo, deslizamentos múltiplos e da erosão dos materiais que ocorrem nas cotas mais elevadas e vão-se depositando ao longo das encostas, preenchendo as irregularidades, depressões topográficas e vales, capazes de conter a movimentação desses materiais.

A espessura dos mantos de colúvio é variável, sendo maior geralmente no sopé das encostas, atingindo valores de até 4,0 m. O relevo bastante suave da Bacia não possibilita

a formação de mantos bem desenvolvidos.

O nível d'água (N.A.) nas camadas de colúvio varia basicamente com as precipitações pluviométricas. Como no Recôncavo as chuvas são frequentes, geralmente nas zonas de baixada existe água aprisionada e em épocas de chuvas intensas os N.A. se desenvolvem rapidamente no interior dessas camadas, provocando condições de grande instabilidade. São comuns surgências de água em locais de percolação preferencial.

Nos maciços constituídos de rochas ou solos argilosos da Bacia, em que ocorrem intercalações de camadas granulares aflorando na face dos taludes, a deposição de mantos de colúvio pode, em alguns casos, impedir ou dificultar a livre drenagem das águas de infiltração através essas camadas drenantes, provocando a elevação das pressões hidrostáticas no interior dos taludes, fenômeno altamente indesejável à estabilidade. Além disso os próprios mantos de colúvio ficam constantemente com umidades elevadas, atingindo também uma situação crítica de estabilidade, registrando-se com frequência movimentações contínuas, na forma de "creep" ou rastejo.

Com o tempo, as camadas de colúvio situadas principalmente no sopé das encostas mais íngremes, vão se depositando umas sobre as outras, provocando o adensamento das camadas inferiores. É comum a ocorrência de mantos de colúvios com diferentes permeabilidades e a existência de camadas mais permeáveis confinadas por outras menos permeáveis.

Os colúvios em geral possuem permeabilidades elevadas permitindo, através das suas camadas, rápida infiltração das águas das precipitações pluviométricas, condicionando com facilidade fluxos na direção paralela à superfície de contato com a camada subjacente, geralmente menos permeável.

#### IV.2 - PRINCIPAIS PERFIS DE INTEMPERISMO

São apresentados à seguir, os principais perfis de intemperismo dos taludes encontrados nas formações expansivas da Bacia Sedimentar do Recôncavo.

##### IV.2.1 - Perfis Típicos dos Taludes das Formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas

Na Figura IV.1 é mostrada uma seção típica de um talude em folhelho intemperizado, com os seus respectivos horizontes de alteração.

Este perfil é o mais comum nos locais de ocorrência de rochas argilosas das formações que compõem os Grupos Santo Amaro e Ilhas.

As rupturas geralmente são superficiais, envolvendo volumes pequenos, no entanto são sucessivas, tendendo a instabilizar massas maiores com o tempo. As rupturas se dão basicamente nos horizontes IA, IB e IC devido à perda de succão desses solos insaturados causada pela infiltração de água ou em alguns casos específicos pela elevação do N.A. nos horizontes subjacentes.

A exposição às intempéries das rochas argilosas na face dos taludes, dá origem principalmente nos folhelhos, ao fenômeno de "empastilhamento".

Em alguns locais onde as condições topográficas favorecem a acumulação de sedimentos, existe tendência para formação de camadas de colúvios no sopé das encostas, conforme representado na Figura IV.2.

As camadas de colúvio com o tempo são muito susceptíveis a movimentações lentas. Nos períodos de chuvas intensas, rupturas frequentes são observadas ao longo das superfícies de contato com as camadas subjacentes.

Na Figura IV.3 é apresentada uma seção típica frequentemente encontrada na Bacia Sedimentar, que tem causado sérios problemas de estabilidade dos taludes. Trata-se da ocorrência de camadas de solos granulares (areias siltosas ou siltes arenosos), provenientes da intemperização dos arenitos e siltitos, depositadas sobre perfis intemperizados de folhelhos.

Os solos granulares possuem permeabilidade muito superior à dos solos argilosos subjacentes. As águas provenientes das precipitações pluviométricas infiltram em grande quantidade através desses solos e percolam no interior do maciço com direção paralela à superfície de contato entre estes dois materiais de permeabilidades tão distintas.

Na Figura IV.4 são mostrados taludes em folhelhos com intercalações de camadas delgadas de arenito e/ou siltito.

É comum também nestes perfis, a existência de camadas de colúvio no sopé dos taludes.

#### IV.2.2 - Perfis Típicos dos Taludes das Formações do Grupo Brotas

Na Figura IV.5 é apresentado um perfil típico de intemperismo, que ocorre com muita frequência nos taludes da formação Aliança do Grupo Brotas.

Os folhelhos vermelhos desta formação são fortemente pré-adensados e devido principalmente ao grande alívio das pressões geostáticas, apresentam-se muito fraturados. Os horizontes IA e IB são pouco desenvolvidos, com espessura total geralmente inferior a 1,5 m. A forte cimentação de óxido de ferro dos folhelhos inibe a intemperização dessas rochas. Os horizontes IC e II constituídos de folhelhos intensamente fraturados, são mais espessos.

As rupturas nestes materiais envolvem basicamente os horizontes IC e II e são motivadas pelo fluxo das águas de infiltração através destes horizontes permeáveis.

Nesta formação embora não seja comum, há possibilidade de se encontrar perfis de intemperismo de taludes similares aos encontrados nas Figuras IV.3 e IV.4, devido à presença dos sedimentos granulares da formação Sergi.

#### IV.2.3 - Perfis Típicos dos Taludes da Formação São Sebastião

Na formação São Sebastião são encontradas

predominantemente camadas de sedimentos granulares (areias siltosas e siltes arenosos) simplesmente apoiadas em sedimentos argilosos ou perfis mais complexos constituídos de maciços granulares com intercalações múltiplas de camadas argilosas menos permeáveis. Em alguns taludes específicos, pode ocorrer em profundidade a presença de folhelhos intemperizados, sotopostos às referidas camadas de sedimentos. Nas Figuras IV.6 e IV.7 são mostradas seções típicas desses perfis.

Os perfis do sub-solo dessa formação, são bastantes desordenados, impossibilitando a definição sistemática dos horizontes, à exemplo do que foi feito para as demais formações expansivas da Bacia.

O posicionamento das camadas com diferentes permeabilidades, provoca uma distribuição complexa de pressões de água dentro do maciço, com o aparecimento de vários lençóis d'água suspensos nos períodos de precipitações pluviométricas intensas.

As inclinações das camadas argilosas dentro do maciço granular são fundamentais na estabilidade dos taludes, uma vez que geralmente condicionam as cunhas de ruptura.

São encontrados também na Bacia Sedimentar taludes constituídos integralmente de sedimentos arenosos ou siltosos, submetidos a fluxos verticais preferenciais de percolação de água. Ocorrem processos intensos de erosão profunda, dando aos taludes uma conformação estética desagradável. Os sedimentos granulares são facilmente

carreados pela água, geralmente interditando as obras viárias existentes e obstruindo sistemas superficiais de drenagem.

**P E R F I L      P R O F. (m)      D E S C R I Ç Ã O**

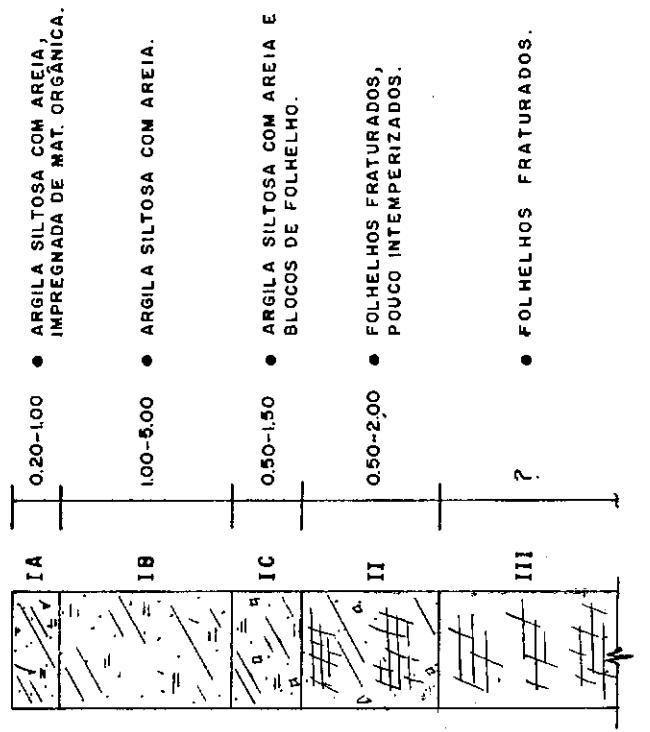
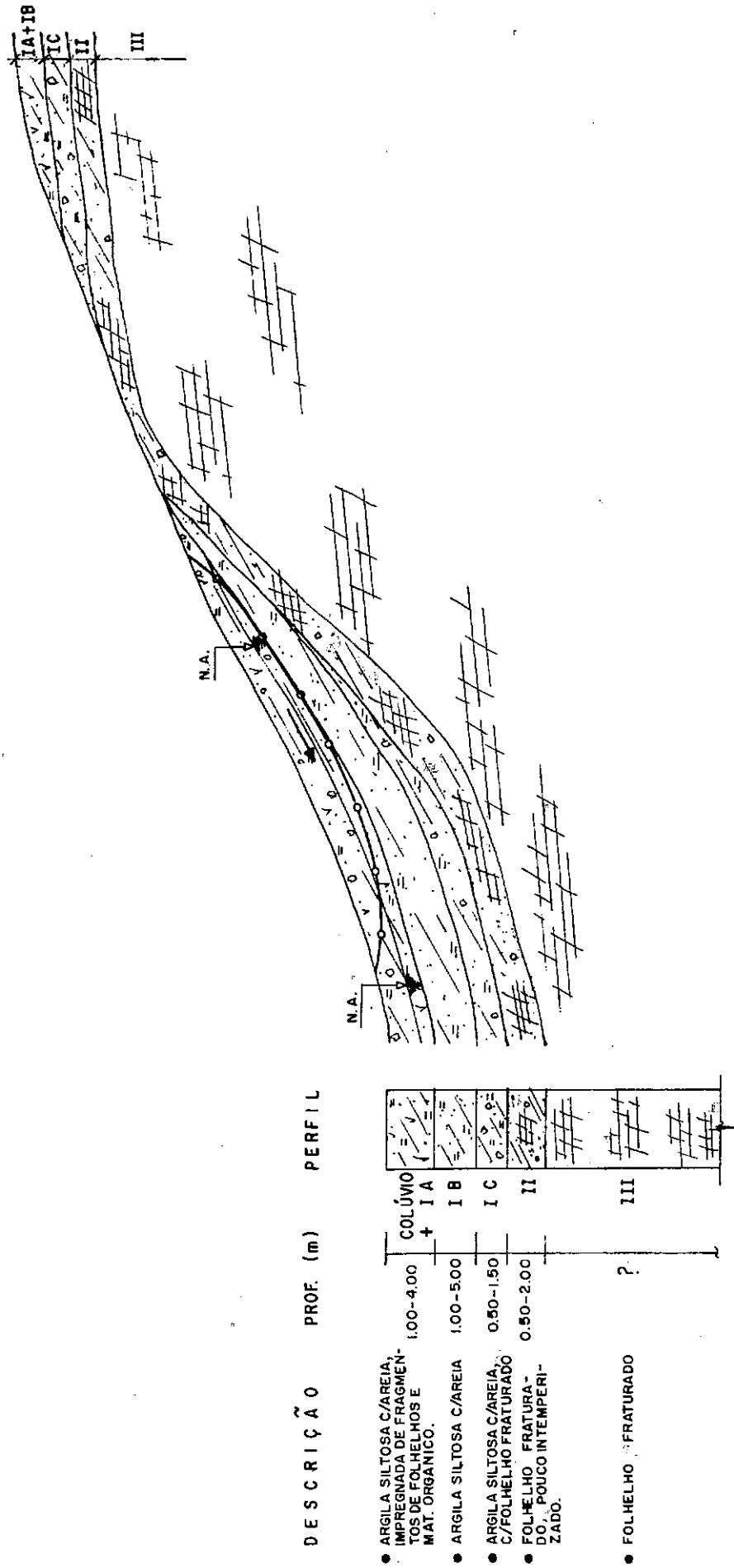


Fig. IV.1 – Perfil típico de intemperismo de um talude de corte em folhelho das formações dos Grupos Ilhas e Santo Amaro.



**P E R F I L            P R O F. (m)            D E S C R I Ç Ã O**

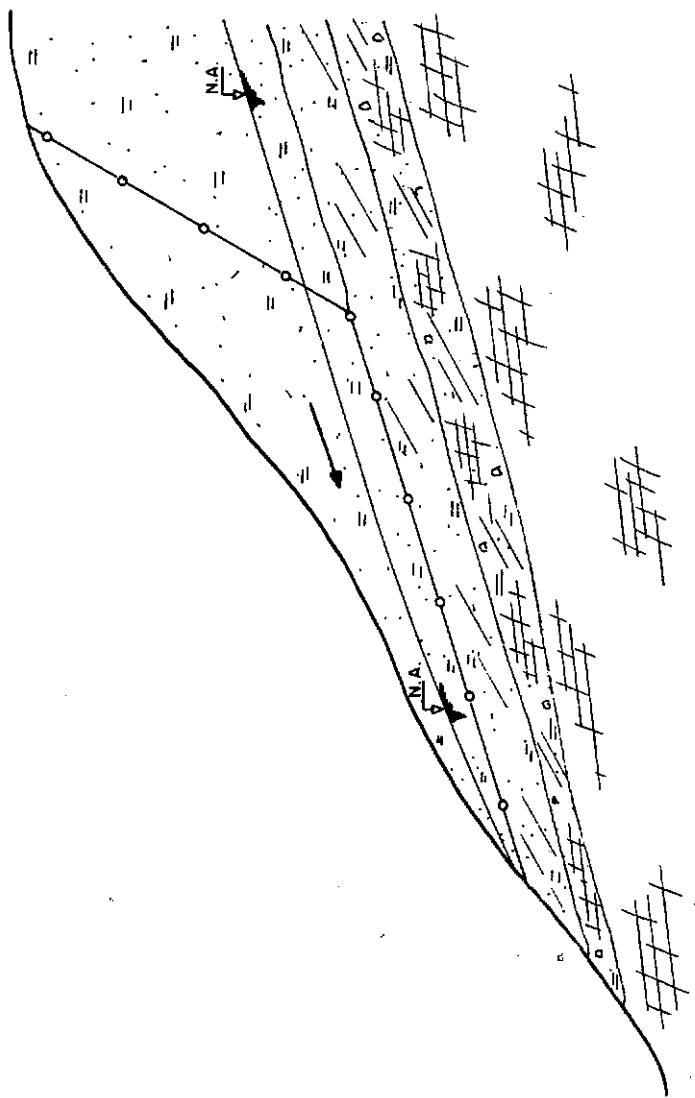
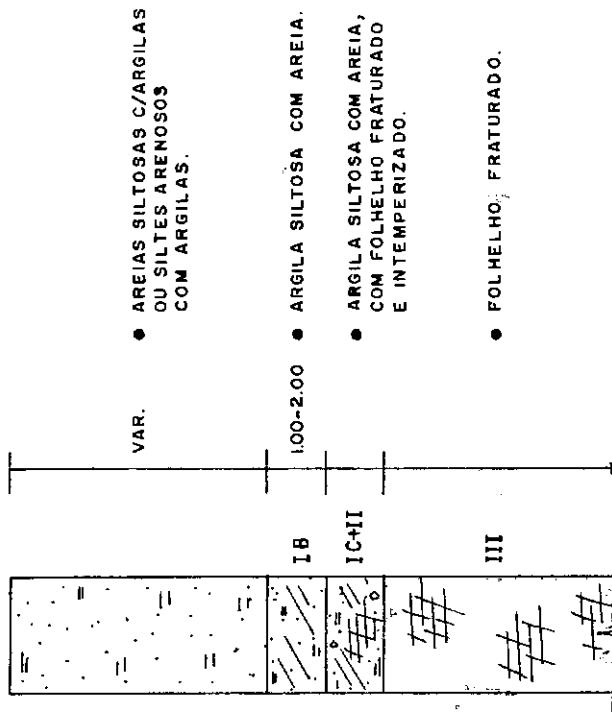


Fig. IV. 3 – Talude com ocorrência de uma camada superficial de solo granular, sobrejacente a um perfil de folhelho intemperizado das formações dos Grupos Ilhas e Santo Amaro.

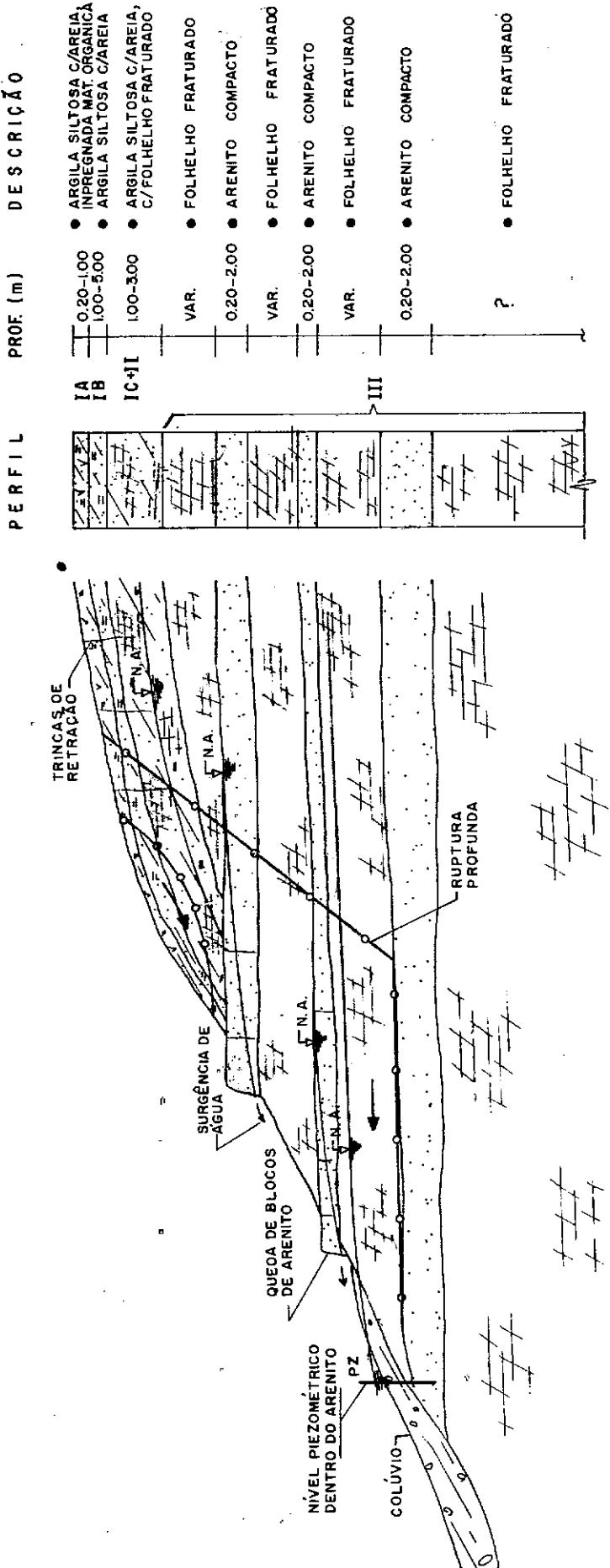


Fig. IV. 4 – Talude em folhelho com intrusões de camadas delgadas de arenito.

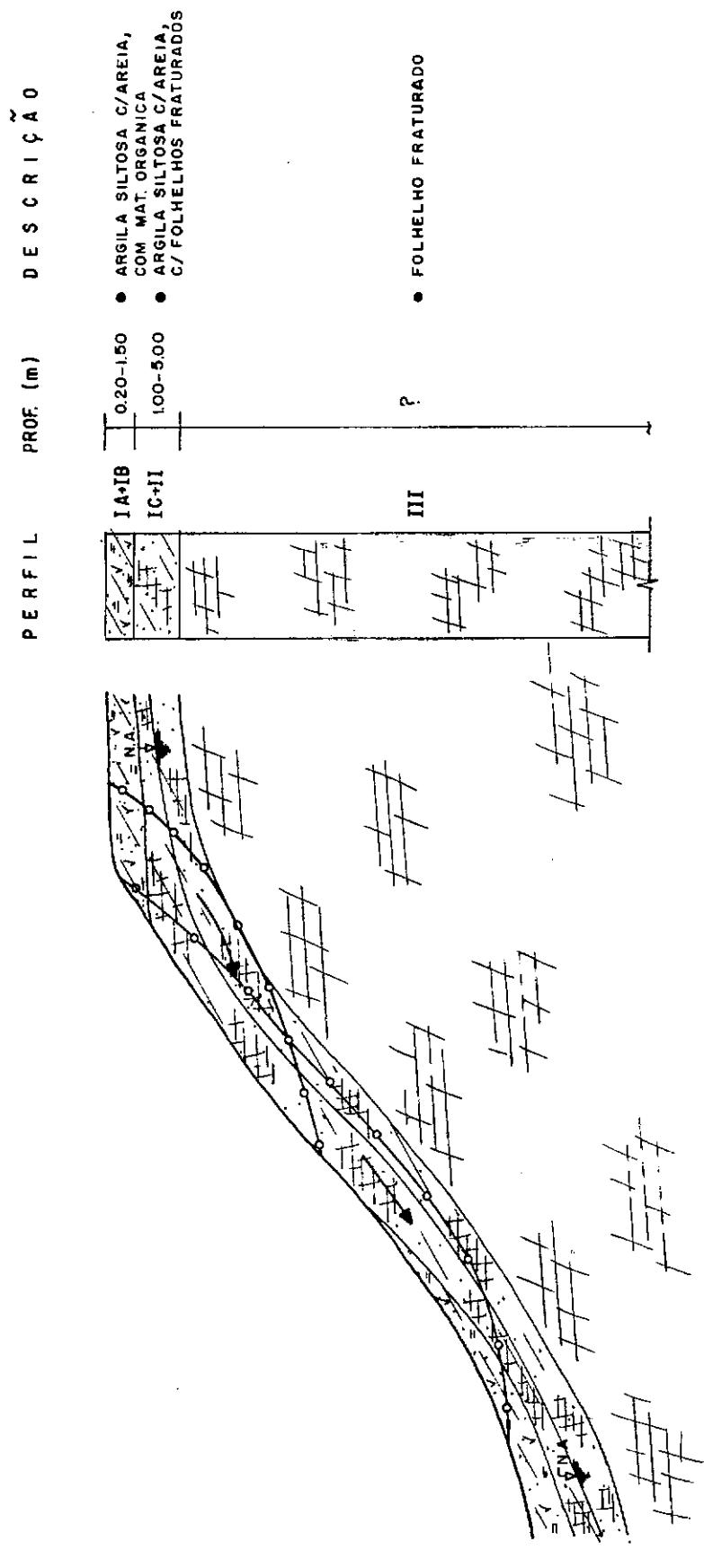


Fig. XIV.5 – Perfil típico de intemperismo dos taludes  
em folhelhos vermelhos da formação Aliança.

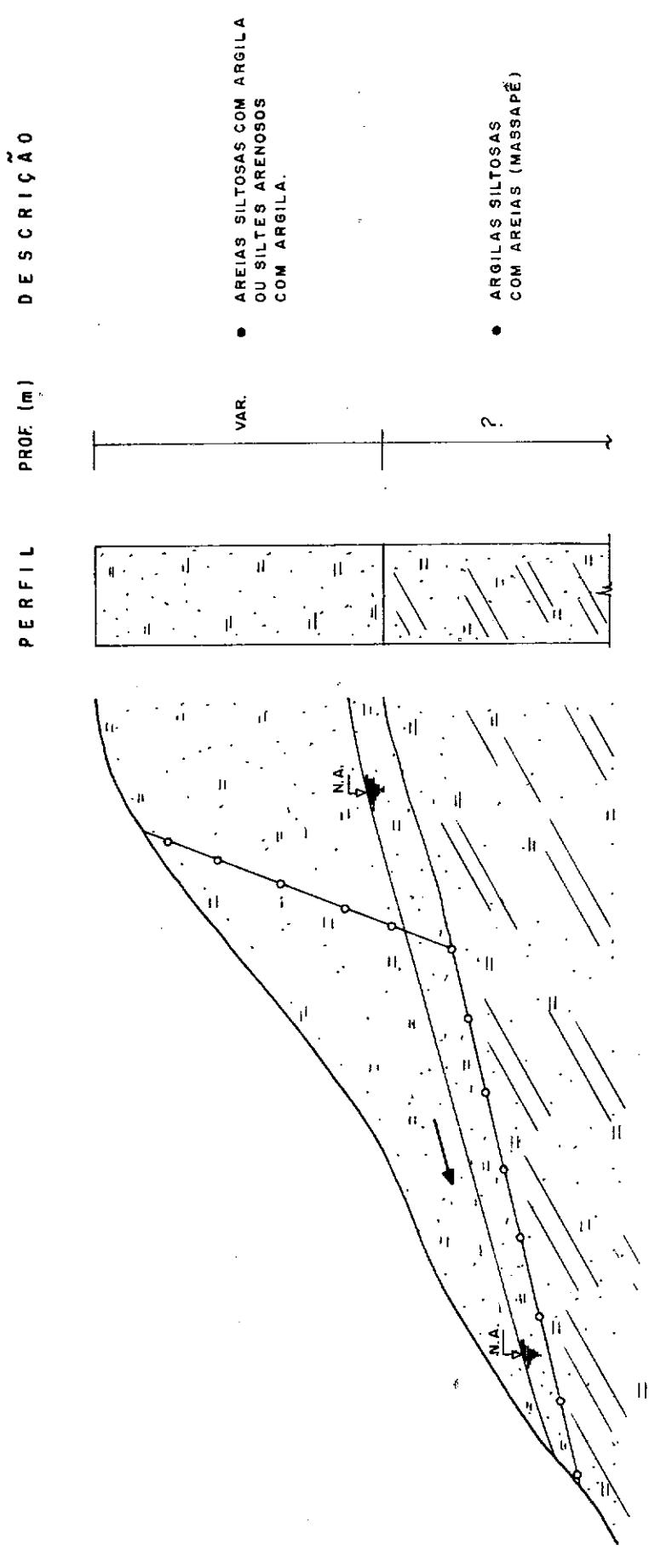


Fig. III.6 – Talude com ocorrência de uma camada superficial de sedimentos granulares permeáveis, sobrejacente aos sedimentos argilo-siltosos (massapés) da formação S. Sebastião.

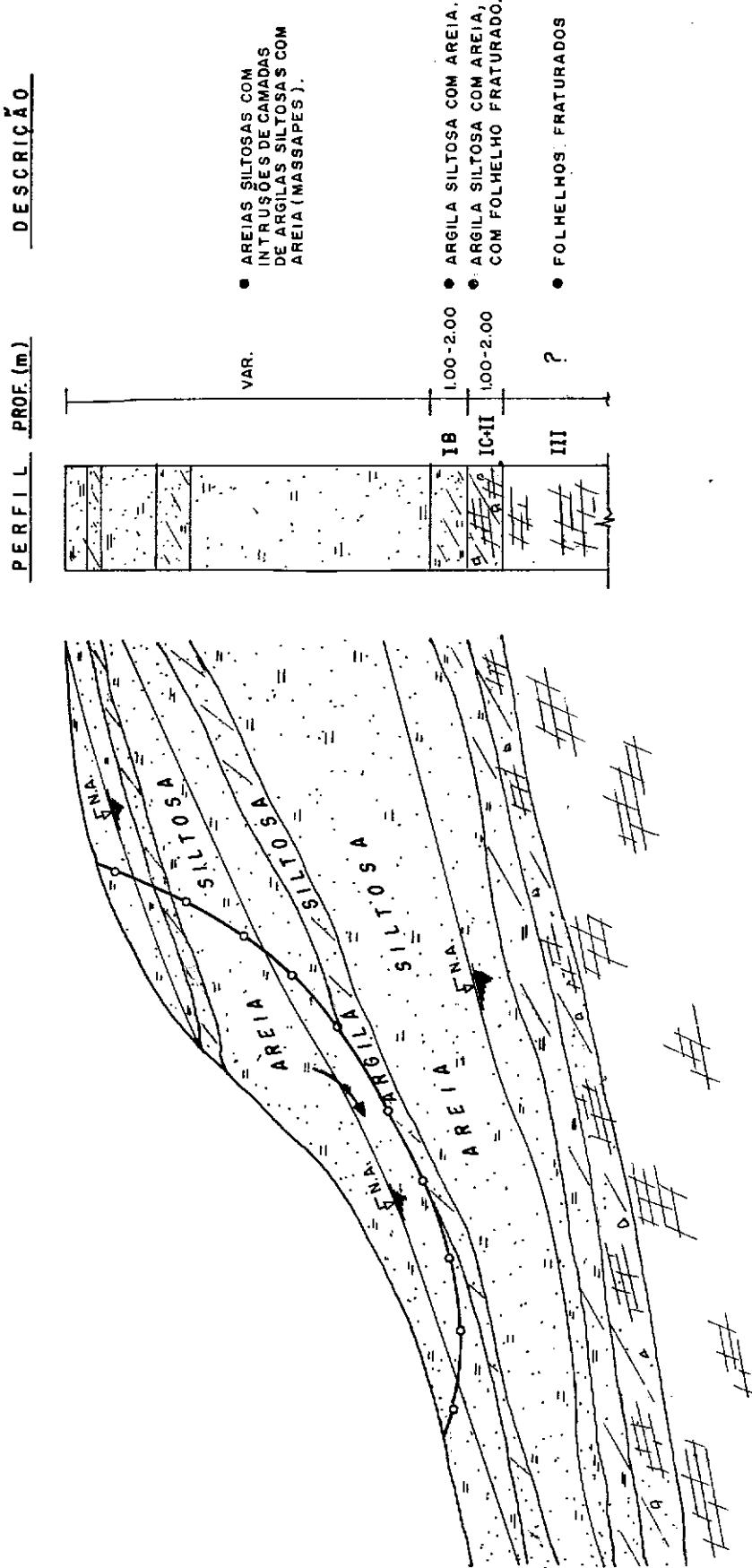


Fig. IV.7 - Perfil com intrusões de camadas argilo-siltosas (massapê) de baixa permeabilidade, no maciço constituído de sedimentos arenoso-siltosos permeáveis da formação S. Sebastião.

## CAPÍTULO V - CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DOS HORIZONTES DE INTEMPERISMO DOS TALUDES

Os resultados das investigações de campo e laboratório, foram agrupados tomando por base os horizontes que compõem os perfis típicos de intemperismo dos taludes encontrados na Bacia Sedimentar. Na interpretação dos resultados fez-se distinção entre as formações geológicas, dando ênfase na discussão dos parâmetros mais influentes nos mecanismos de instabilização e nas análises de estabilidade dos taludes.

A maioria dos dados geotécnicos utilizados para elaboração desse trabalho, foi obtida diretamente pelo autor, durante sua participação nas obras e nos trabalhos de tese, constituindo um volume apreciável de informações sobre os materiais ocorrentes na Bacia Sedimentar do Recôncavo, que podem ser de muita utilidade para futuras consultas. Por conveniência alguns dados sofreram tratamento estatístico. As fontes de onde foram extraídos os referidos dados, são apresentadas resumidamente à seguir.

- Rodovia Canal de Tráego: levantamentos geológicos dos taludes deslizados; furos a trado, sondagens à percussão e rotativas para estudo dos taludes; ensaios "in situ" de permeabilidade e de perda d'água; ensaios de caracterização, permeabilidade, cisalhamento direto e triaxiais, executados em amostras indeformadas extraídas

de poços nos taludes.

- **Porto de Aratú:** levantamentos geológicos dos taludes deslizados; furos de prospecção para estudo dos taludes; ensaios laboratoriais de caracterização e cisalhamento direto.
- **Tese de Mestrado:** ampla amostragem de massapês (hor. IB) no Recôncavo; ensaios laboratoriais de caracterização física, química e mineralógica; estudo das propriedades expansivas dos massapês compactados.
- **Adutora Pedra do Cavalo:** estudos para implantação dos cortes da Adutora; prospecções à trado, percussão e rotativas; poços de inspeção e de extração de blocos indefornados; instalação e acompanhamento de leituras em medidores de N.A. e de piezômetros pneumáticos instalados nos taludes; ensaios de permeabilidade "in situ"; ensaios preliminares de cisalhamento direto "in situ" em blocos de grandes dimensões; instrumentação de taludes em folhelhos com inclinômetros, piezômetros e marcos superficiais; estações sazonais para determinação da variação da umidade dos massapês com a profundidade.
- **Trabalhos para Tese de Doutorado:** levantamentos de diversos casos de ruptura de taludes dentro da Bacia; mapeamento geológico-geotécnico e cadastramento em detalhes de dezenas de taludes deslizados em abril e maio de 1989; levantamentos topográficos; investigações geotécnicas de campo, com a execução de furos à trado, poços de inspeção, extração de blocos indefornados,

ensaios de permeabilidade "in situ" e instalação de medidores de N.A.; trabalhos laboratoriais com a execução de ensaios químicos, mineralógicos, caracterização, adensamento, expansão, permeabilidade, cisalhamento direto e triaxiais.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios do CEPED e da COPPE, adotando-se os procedimentos indicados pela ABNT.

#### V.1 - CARACTERIZAÇÃO

Nas Tabelas V.1 a V.4 são apresentados resultados de ensaios de caracterização, executados em amostras representativas dos horizontes de perfis típicos de intemperismo das rochas argilosas ocorrentes nos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

Os resultados desses ensaios variaram pouco dentro de um mesmo horizonte, quando se tratava das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas. Este fato pode ser comprovado no campo, pela dificuldade encontrada para distinção entre as referidas formações. Até mesmo nos mapas geológicos da Bacia Sedimentar, em alguns locais os afloramentos são classificados como não diferenciados. Variações mais significativas principalmente com relação as propriedades de resistência, permeabilidade e expansão, foram registradas em profundidade entre horizontes diferentes.

Foram realizados poucos ensaios do horizonte IA, devido à pequena espessura e a sua pouca influência nas análises de estabilidade.

Em solos residuais normalmente o teor de argila diminui muito com a profundidade, observa-se porém, com base nos resultados apresentados nas referidas Tabelas, que o teor de argila embora seja maior no horizonte IB, ainda permanece com valores elevados nos demais horizontes subjacentes.

A elevada plasticidade desses materiais é decorrente da quantidade de argila, assim como do tipo e do teor de minerais argílicos, notadamente a montmorilonita e camadas mistas ilita-montmorilonita, presentes em todos os horizontes de intemperismo, inclusive na própria rocha matriz (hor.III).

Os materiais constituintes dos horizontes de intemperismo, apresentam em geral, porcentagem passando na peneira 200 superior a 80 % e limite de liquidez superior a 50%. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação, os massapês são enquadrados quase na sua totalidade como CH, de alta plasticidade. Os materiais dos horizontes subjacentes, são classificados também como CH, com algumas ocorrências de MH.

Os massapês (hor. IB) provenientes dos folhelhos vermelhos da formação Aliança apresentam em média as seguintes características: argila 56%, silte 36% e areia 8%;  $wL=66\%$ ,  $wP=47\%$  e  $Ip=19\%$ .

Na Tabela V.5 são mostrados os resultados dos ensaios executados em amostras de areia silto-argilosa e de argila silto-arenosa (massapês) da formação São Sebastião.

Normalmente os massapês encontrados na formação São Sebastião, têm características e composições mineralógicas diferentes dos massapês (hor. IB) provenientes da intemperização das rochas argilosas das demais formações expansivas da Bacia. Em consequência apresentam menores expansões, assim como permeabilidades e resistências ao cisalhamento mais elevadas.

Os sedimentos granulares predominantes nesta formação são areias silto-argilosas, podendo ocorrer também em alguns locais siltes arenó-argilosos e siltes argilo-arenosos. Geralmente não são expansivos, podendo no entanto exibir em alguns casos expansões moderadas, função da composição granulométrica e mineralógica da fração argila. Em comparação com os sedimentos argilosos (massapês) desta mesma formação, são muito mais permeáveis e resistentes.

Os mantos de materiais granulares que ocorrem nas formações dos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas, possuem propriedades semelhantes à dos sedimentos granulares da formação S. Sebastião, anteriormente referidos.

Vários resultados de ensaios de caracterização e de análises químicas e mineralógicas executadas em massapês, foram apresentados e discutidos em detalhes por SIMÕES (1977), SIMÕES e COSTA FILHO (1981).

## V.2 - ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados das análises químicas efetuadas no CEPEID em amostras de massapê (hor. IB) e folhelho (hor. III)

das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, são apresentados respectivamente nas Tabelas V.6 e V.7. O estudo comparativo desses valores mostrou também que dentro de um mesmo horizonte a composição química variava pouco, as principais alterações ocorriam entre diferentes horizontes de intemperismo.

Os valores das relações moleculares  $Ki$  e  $Kr$  são sempre maiores do que 3 e 4, respectivamente, demonstrando o caráter expansivo desses materiais. O cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) são os cátions trocáveis predominantes, no entanto em alguns locais o sódio (Na) aparece com teores relativamente elevados. A capacidade de troca catiônica situa-se na faixa de 10 a 40 meq/100g, consistente com os resultados das análises mineralógicas.

### V.3 - ANÁLISES MINERALÓGICAS

Foram realizados no CEPED e no Instituto de Geociências da UFBA, ensaios de difração em raio X, para identificação dos minerais argílicos presentes na fração argila dos massapês (hor. IB) e dos folhelhos (hor. III). As amostras foram coletadas em vários taludes pertencentes às formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

A análise desses ensaios, conjuntamente com a composição química e a capacidade de troca catiônica, permitiu fazer uma avaliação semi-quantitativa do teor de minerais argílicos presentes nestes materiais, conforme mostrado na Tabela V.8.

A expansão desses materiais é devida à presença, com teor bastante elevado, de minerais argílicos expansivos tipo montmorilonita, camadas mistas ilita-montmorilonita e ilita.

O estudo comparativo entre a composição dos massapês e dos respectivos folhelhos de origem, conforme mostrado na Tabela V.8, revela que estas rochas já possuíam nas suas estruturas porcentagens consideráveis de minerais argílicos expansivos. Os teores mais elevados de montmorilonita e camadas mistas ilita-montmorilonita encontrados nos massapês, são atribuídos à evolução do processo de intemperização dos folhelhos.

Análises mineralógicas executadas na fração argila de amostras dos folhelhos vermelhos da formação Aliança, extraídas respectivamente ao longo das bordas norte e sul da Bacia, nas proximidades das cidades de Amélia Rodrigues e Ituberá, apresentaram a seguinte composição média: montmorilonita (45%), camadas mistas ilita-montmorilonita (35%), ilita (15%) e caulinita (5%).

Na Tabela V.9 é mostrada a composição mineralógica das argilas silto-arenosas (massapês), coletadas em alguns taludes da formação São Sebastião. Os minerais argílicos predominantes são ilita e caulinita, não se registrando nas amostras ensaiadas a presença de montmorilonita e camadas mistas ilita-montmorilonita, potencialmente mais ativas.

Ensaios mineralógicos da fração argila foram executados

também nos sedimentos granulares da formação São Sebastião, constituídos de areias silto-argilosas. Na Tabela V.10 os resultados desses ensaios são mostrados, verificando-se os teores reduzidos de ilita, que conferem potencial de expansibilidade bastante baixo a estes sedimentos.

#### V.4 - PERFIS PEDOGENÉTICOS

Nas Tabelas V.11 e V.12 são apresentadas as principais características de dois perfis pedogenéticos, de folhelhos dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, situados respectivamente numa encosta natural com N.A. profundo e numa zona de baixada com N.A. à pouca profundidade.

A análise dessas Tabelas conduz às seguintes conclusões principais:

- nas zonas de cotas mais elevadas o N.A. do sub-solo geralmente é mais profundo; nestas encostas a espessura dos horizontes de intemperismo são menores do que nas regiões de topografia mais suave, onde normalmente o N.A. é pouco profundo, havendo maior contribuição dos materiais transportados.
- foram definidas faixas de variação do SPT características para cada horizonte de intemperismo, tomando por base diversos perfis de sondagem analisados.
- os ensaios de caracterização refletem dentro de cada horizonte a ação do intemperismo, comprovando de forma

geral que horizontes mais intemperizados exibem teores mais elevados de argila e maiores plasticidades.

- os resultados dos ensaios químicos mostram as transformações que se processam da rocha matriz até os horizontes mais intemperizados; nos horizontes superficiais vão-se concentrando os elementos químicos mais resistentes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), enquanto outros elementos ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) são mais facilmente transformados e removidos, aparecendo com teores mais elevados nos horizontes mais profundos.

- os minerais argílicos expansivos são encontrados em todos os horizontes de intemperismo; os horizontes mais intemperizados, de forma geral, apresentam teores mais elevados de montmorilonita e camadas mistas ilita-montmorilonita, demonstrando que uma parte desses minerais foi gerada em consequência do processo de intemperização.

- a posição do N.A. exerce influência principalmente nos processos de intemperização física e biológica das rochas da Bacia, assim como nas transformações químicas dos seus minerais constituintes.

## V.5 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

### V.5.1 - Considerações Gerais

As dificuldades são muitas para se fazer avaliações confiáveis de estabilidade de taludes naturais. A escolha adequada dos parâmetros de resistência ao longo das

superfícies de ruptura é uma tarefa fundamental nas análises, constituindo-se num assunto de discussão frequente por diversos especialistas.

BISHOP (1966), através de dados experimentais, concluiu que em argilas pré-adensadas e fissuradas as resistências que se desenvolviam no campo, nas superfícies de deslizamento, eram muito mais próximas daquelas obtidas em ensaios de campo em grande escala, do que as obtidas ensaiando pequenas amostras em laboratório, mesmo adotando-se todos os refinamentos recomendáveis. As discrepâncias entre os resultados de campo e de laboratório eram atribuídas aos seguintes fatores: tempo de ruptura; diferença do estado de tensões no laboratório e "in situ"; anisotropia do material e principalmente com relação ao tamanho das amostras, por não levar em consideração as descontinuidades geológicas presentes no maciço.

As dimensões dos corpos de prova de argilas rijas e fissuradas ensaiadas em laboratório, tem influência muito grande nos parâmetros de resistência. De forma geral maiores amostras dão valores de resistência de pico menores, devido ao efeito do fissuramento (HEAD, 1986). De acordo com SKEMPTON e PETLEY (1967) esta redução é atribuída às resistências efetivas mais baixas que são mobilizadas ao longo das descontinuidades. O efeito das fissuras sobre a deformabilidade dessas argilas foi discutido em detalhes por COSTA FILHO (1984), com base em estudos realizados sobre as argilas de Londres, tendo-se

concluído que para fins práticos era desprezível.

VAUGHAN e WALBANCKE (1973) ressaltaram a influência da ruptura progressiva na redução dos parâmetros de pico na superfície de ruptura.

SKEMPTON e HUTCHINSON (1969) sugeriram em argilas rijas e fissuradas, o uso de parâmetros efetivos de resistência na análise de estabilidade de taludes, como forma de reduzir as diferenças entre os valores de campo e de laboratório, recomendando também a realização de ensaios de campo de grandes dimensões.

De acordo ainda com os referidos autores, em uma superfície de ruptura pré-existente no talude, a resistência mobilizada é igual ou muito próxima à residual, sendo em geral muito mais baixa do que a resistência em qualquer outra direção dentro do material são. Mesmo nas situações em que a resistência ao longo dessa superfície está acima da residual, geralmente pequenos deslocamentos são suficientes para reduzi-la até este valor.

PATTON (1966) observou que a deformação correspondente à resistência de pico é dependente da pressão normal atuante. Na análise das curvas tensão-deformação geralmente verifica-se que à baixas pressões normais, as deformações correspondentes aos valores de pico são pequenas. À medida que estas pressões aumentam as respectivas deformações também aumentam, até atingir um nível elevado de pressão onde as deformações voltam a

diminuir. Dessas observações conclui-se que a tensão de pico não pode ser mobilizada simultaneamente ao longo de toda a superfície de ruptura, uma vez que a pressão normal é variável. Para cada deformação são mobilizados diferentes valores de tensão. As resistências ao longo da superfície de ruptura variam portanto entre valores correspondentes às resistências de pico e residual.

Nos estudos para estabilização dos taludes, em argilas pré-adensadas de Lake Agassiz (USA), PECK (1967) sugeriu o seguinte: usar parâmetros residuais na região superior da cunha de ruptura, onde as pressões normais são pequenas e as deformações são elevadas; na região central onde as pressões são maiores, as tensões mobilizadas poderiam ser próximas aos valores de pico e por fim, na região inferior onde as pressões são pequenas e as deformações são da mesma ordem de grandeza das desenvolvidas na região central, as resistências mobilizadas estariam entre os valores de pico e residual.

Segundo COOLING (1976), resistências de pico medidas em laboratório ou em ensaios "in situ", quando usadas em projetos de taludes com presença de planos de fraqueza, fornecerão valores não conservadores de fatores de segurança, pelo fato de não levar em consideração as movimentações que fatalmente ocorrem durante a vida desses maciços, que tendem na realidade a mobilizar com o tempo os parâmetros residuais.

De acordo com PATTON (1966), uma razoável estimativa da

resistência ao cisalhamento "in situ" ao longo de descontinuidades de rochas duras, pode ser obtida usando os parâmetros residuais provenientes de ensaios de cisalhamento direto em laboratório, acrescentando uma componente "i" ao ângulo de atrito, relativa à inclinação das irregularidades existentes nos planos de ruptura, que não foram cisalhadas ou esmagadas. Correlação desse tipo para rochas brandas não foram encontradas na bibliografia consultada.

#### V.5.2 - Ensaios de Cisalhamento dos Materiais da Bacia Sedimentar

Os ensaios realizados pelo autor para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais ocorrentes nos taludes da Bacia Sedimentar, foram programados em função dos casos típicos de ruptura, visando-se obter parâmetros confiáveis para uso nas análises de estabilidade. As investigações "in situ" das superfícies de ruptura foram fundamentais na definição desses ensaios.

As amostras foram obtidas de blocos indefornados extraídos em locais devidamente escolhidos, representativos das superfícies de ruptura, tomando-se o cuidado de seguir em laboratório a mesma orientação da ruptura experimentada pelo material no campo.

Foram realizados ensaios triaxiais, tipo CU e de cisalhamento direto, CD, reversível, para determinação das

envoltórias de pico e residual.

Os corpos de prova possuíam dimensões convencionais, tendo nos ensaios triaxiais altura em torno de 9,0 cm e diâmetro de 3,6 cm e nos ensaios de cisalhamento direto, em amostras com seção quadrada, altura de 2,5 cm e lado de 5,1 cm. No primeiro caso as amostras foram saturadas por contra-pressão e no segundo, imersas em água por um período mínimo de 48 horas ou até cessar a expansão. Estes procedimentos permitiram a determinação dos parâmetros de resistência das amostras praticamente saturadas.

Os ensaios de cisalhamento direto tiveram duração entre dois a quatro dias, atendendo as velocidades mínimas requeridas para obtenção dos parâmetros efetivos de pico. Na determinação dos parâmetros residuais a velocidade do ensaio foi duplicada devido a sua pouca influência nos resultados, conforme já preconizado por outros autores e constatado nos testes preliminares.

Quando no campo verificava-se que as superfícies de ruptura atravessavam materiais considerados homogêneos (massapês e sedimentos arenoso-argilosos), foram executados conjuntamente ensaios triaxiais CU e de cisalhamento direto, e quando coincidiam com as descontinuidades geológicas, as resistências ao longo dessas superfícies foram determinadas exclusivamente através de ensaios de cisalhamento direto, reversível.

A determinação das envoltórias residuais ficaram limitadas aos ensaios de cisalhamento direto reversível, devido as

dificuldades encontradas para realização de ensaios mais representativos, tipo "ring shear".

Esforços foram feitos também pelo autor para o desenvolvimento de um equipamento e de procedimentos, para realização de ensaios de cisalhamento direto "in situ", com o objetivo de cisalhar blocos de grandes dimensões. Testes iniciais foram realizados ao longo de descontinuidades dos folhelhos, em blocos com 50 x 50 x 50 cm, no entanto, a falta de tempo e de recursos, impossibilitaram a continuidade desses trabalhos.

A Tabela V.13 contém parâmetros de resistência ao cisalhamento de materiais pertencentes às formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

Na Tabela V.14 são apresentados também diversos parâmetros de resistência dos sedimentos arenosos e argilosos da formação São Sebastião.

A análise comparativa das resistências de pico dos massapês, determinadas através de ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, mostrou de forma geral pouca discrepância entre os resultados, apesar do microfissuramento desses solos.

Em decorrência das dimensões reduzidas das amostras normalmente ensaiadas em laboratório, os parâmetros de pico obtidos principalmente para os massapês, devem ser superiores aos mobilizados no campo ao longo das superfícies de deslizamento, devido ao efeito das

descontinuidades.

A seguir serão apresentados alguns ensaios, que traduzem o comportamento típico dos materiais ocorrentes ao longo das superfícies de ruptura dos taludes deslizados da Bacia.

Na Figura V.1 são mostradas a envoltória de pico e as curvas tensão x deformação axial, obtidas de ensaios triaxiais CU realizados em massapês (hor. IB) do Grupo Ilhas. O pré-adensamento desses solos é caracterizado pela envoltória não linear, no trecho correspondente à baixas pressões normais.

Na Figura V.2 são mostradas também a envoltória de pico e as curvas tensão x deformação axial, obtidas de ensaios triaxiais CU realizados em argilas-arenosas com silte (massapês), pertencentes à formação S. Sebastião. O comportamento característico de solos levemente pré-adensados é identificado também pela forma da envoltória da referida Figura. O ângulo de atrito relativamente alto dessa amostra, em particular, está associado à sua composição granulométrica (argila 44%, areia 40% e silte 16%), que apresenta um teor de areia elevado.

Ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, foram executados sobre amostras de massapê, para determinação das envoltórias de pico e residual. Ensaios típicos são mostrados nas Figuras V.3, V.4 e V.5, referentes aos massapês dos Grupos Santo Amaro e Ilhas. É importante frisar o comportamento não linear de algumas dessas envoltórias, fenômeno comumente observado nos ensaios

realizados, exibindo inclusive uma pequena coesão residual.

Os massapês (hor.IB) provenientes da intemperização das rochas argilosas, além das trincas de retração detectadas no campo, possuem numerosas descontinuidades identificadas em laboratório na forma de planos de acamamento e fissuras, formando superfícies de fraqueza que reduzem a resistência de pico, em certas situações, à valores muito inferiores àqueles do solo "intacto".

Esses solos quando submetidos a deformações moderadas geralmente mobilizam as resistências residuais. Estas conclusões podem ser obtidas das curvas típicas tensão x deformação horizontal mostradas nas Figuras anteriormente citadas. O desenvolvimento dos planos de cisalhamento, geralmente é acompanhado da orientação das partículas na direcção do movimento principal, sendo responsável pelo seu aspecto polido, conforme pode ser observado no campo e na análise sistemática das superfícies das amostras cisalhadas em laboratório.

Em alguns casos, as curvas tensão x deformação podem apresentar uma pequena queda à partir do valor de pico, embora com o aumento das deformações as resistências residuais sejam logo mobilizadas. Esta discrepância é função basicamente dos seguintes fatores: rugosidade da superfície de ruptura, orientação não uniforme das partículas e ligação temporária criada entre as partículas ao longo dos planos de deslizamento preferenciais.

Maiores discrepâncias entre as resistências de pico e residual ocorrem em alguns casos específicos, principalmente quando as amostras de massapê se encontram menos afetadas estruturalmente, tendo o grau de pré-adensamento influência marcante neste fenômeno.

Nas Figuras V.6a e V.6b são mostrados ciclos múltiplos de cisalhamento reversível, para se obter a envoltória residual da amostra de massapê referida na Figura V.3. Em ensaios similares realizados em uma série de amostras, constatou-se que 4 a 6 ciclos para cada pressão normal, eram suficientes para definir as resistências residuais.

Os sedimentos granulares da formação S. Sebastião, constituídos predominantemente de areias silto-argilosas, foram submetidos a ensaios de cisalhamento direto, reversível, cujas curvas são mostradas na Figura V.7. Os parâmetros de pico e residual variaram pouco, devendo-se este fato ao baixo grau de pré-adensamento e as condições razoáveis de homogeneidade e isotropia desses solos.

Foram executados também ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, sobre os materiais provenientes dos horizontes de transição IC e II. A granulometria desses materiais e as dimensões reduzidas dos corpos de prova, foram fatores limitantes. Envoltórias de pico e residual, são mostradas na Figura V.8, correspondentes à ensaios realizados em massapês com fragmentos de folhelhos (hor. IC), pertencentes à formação Aliança.

Nos casos em que as rupturas se davam no contato dos

colúvios com os massapês, no contato dos sedimentos granulares com os massapês ou ao longo dos planos de fratura dos folhelhos, contendo ou não materiais de preenchimento, foram executados ensaios de cisalhamento direto, reversível, tipo CD, coincidindo em laboratório os planos de cisalhamento com estas descontinuidades, conforme envoltórias mostradas respectivamente nas Figuras V.9, V.10 e V.11. Na maioria dos ensaios constatou-se pouca diferença entre as resistências de pico e residual, associando-se este fato às movimentações que devem ter ocorrido no passado ao longo dessas superfícies ou aquelas que fatalmente são registradas durante as escavações executadas pelo homem, as quais são agravadas nas épocas das precipitações pluviométricas mais intensas. Algumas discrepâncias entre os parâmetros, foram verificadas quando envolviam principalmente contatos entre colúvios e massapês, sendo atribuídas basicamente à reorientação das partículas ao longo dos planos de ruptura, quando as amostras eram submetidas a grandes deformações, fenômeno facilmente observado no laboratório.

As inspeções "in situ" dos taludes deslizados com planos pré-existentes de fraqueza, mostraram claramente as superfícies de ruptura lisas, polidas, com evidências contundentes da concentração de umidade e da movimentação relativa ao longo desses planos. Os ângulos de atrito determinados nestas retro-análises, foram bastantes compatíveis com os ângulos de atrito residuais obtidos através dos ensaios de cisalhamento direto reversível. Em

termos comparativos os valores diferiram geralmente de 1 a 3<sup>o</sup>.

#### V.6 - ADENSAMENTO

Na Figura V.12 são mostradas curvas típicas de ensaios de adensamento, realizados em massapês provenientes da intemperização de folhelhos das formações Marfim e Pojuca do Grupo Ilhas, obedecendo aos seguintes procedimentos: a amostra nº 01, inicialmente foi deixada imersa em água até cessar a expansão, fazendo-se daí em diante o ensaio de adensamento; na amostra nº 02 foi feito o ensaio convencional de adensamento com imersão e carregamento simultâneos; a amostra nº 03 foi adensada na umidade natural até o estágio correspondente à 100 KN/m<sup>2</sup>, depois foi imersa em água até cessar expansão, daí em diante prosseguiu-se com o ensaio de adensamento; a amostra nº 04 foi adensada na umidade natural, sem imersão.

As curvas passaram a ser praticamente coincidentes no trecho virgem, sob pressões maiores do que 200 KN/m<sup>2</sup>, mostrando que os processos alternados de expansão e adensamento praticamente não influenciavam o comportamento dos massapês, ao serem atingidas pressões próximas às de pré-adensamento.

A análise dos trechos de descarregamento das curvas de adensamento dos massapês, revela a forte tendência que estes materiais têm de expandirem quando submetidos a

alívios de pressão. A recuperação da estrutura do material durante as escavações, é visivelmente notada em alguns casos no campo pela abertura das trincas pré-existentes, pelo "embarrigamento" da face dos taludes e pela formação de trincas de tração no topo dos taludes.

Na Tabela V.15 são apresentados dados característicos de diversos ensaios de adensamento realizados em amostras de massapê da Bacia Sedimentar. O grau de pré-adensamento desses solos está correlacionado diretamente com as pressões geostáticas, conforme coluna estratigráfica mostrada na Figura III.1, podendo variar de solos levemente pré-adensados (formação S. Sebastião) a fortemente pré-adensados (formação Aliança).

#### V.7 - PERMEABILIDADE

As propriedades drenantes dos maciços com relação a infiltração das águas ou a elevação do N.A. do sub-solo, são fortemente influenciadas pelas suas feições geológicas. Aspectos relacionados às fissuras, trincas de retração, fraturas, juntas, diaclases, falhas, veios de silte e areia dentro do maciço, presença de materiais argilosos de preenchimento de descontinuidades, etc., exercem grande influência no desenvolvimento das pressões de água dentro do maciço.

A análise e o uso prático dos resultados dos ensaios de permeabilidade executados em laboratório sobre amostras de pequenas dimensões, torna-se bastante difícil pela não

representatividade das amostras.

Os coeficientes de permeabilidade dos materiais constituintes dos horizontes de intemperismo dos taludes analisados, foram determinados pelo autor, basicamente através de ensaios "in situ" de carga constante. Dificuldades foram encontradas, em alguns casos, para execução desses ensaios em materiais rochosos muito fraturados, devido a elevada permeabilidade.

Os ensaios foram executados em furos à trado, com cerca de 0,10 m de diâmetro e 1,0 m de profundidade, utilizando-se o permeâmetro e as fórmulas apresentadas na Figura V.13, seguindo-se os procedimentos do USBR.

Na Tabela V.16 são apresentadas as faixas de variação dos coeficientes de permeabilidade, obtidas para os materiais encontrados nos taludes da Bacia.

#### V.8 - RETRAÇÃO, EXPANSÃO E PRESSÃO DE EXPANSÃO

São apresentadas correlações obtidas através de ensaios de laboratório, visando verificar a influência da umidade respectivamente sobre a retração, expansão livre e pressão de expansão.

Foram ensaiadas diversas amostras naturais de massapê do Grupo Ilhas, com índices de vazios semelhantes, fazendo-se variar apenas as umidades. No estudo da expansão livre, o mesmo procedimento foi adotado para os massapês provenientes da formação Aliança do Grupo Brotas.

É de fundamental importância no projeto de soluções de estabilização em materiais expansivos, o conhecimento da variação das suas propriedades expansivas em função da faixa de umidades normalmente encontrada no campo.

Na Figura V.14 é mostrada uma curva característica que reflete a retração de amostras naturais de massapê, inicialmente saturadas, submetidas a ressecamento até atingir umidades finais bastante baixas. Na faixa de umidade usual de campo, entre 48 e 22 %, foram medidas retracções máximas na ordem de 5 %.

Na Figura V.15 são mostradas curvas de expansão livre de massapês naturais a diversas umidades iniciais, obtidas deixando-se nos ensaios as amostras imersas até completa saturação. Dentro da faixa de umidade normalmente encontrada no campo, foram obtidas expansões máximas em torno de 13%.

A análise comparativa das curvas de retração e expansão, mostrou que a quantidade de água retida durante o processo de secagem do massapê é maior do que no processo de umedecimento.

A variação da pressão de expansão dos massapês naturais com a umidade inicial, é representada através da curva mostrada na Figura V.16. As pressões de expansão variam pouco e geralmente são inferiores a  $300 \text{ KN/m}^2$ , nas umidades usuais de campo, atingindo no entanto variações e valores elevados para umidades inferiores à 20 %.

SIMÕES (1977) determinou o potencial de expansão de diversas amostras de massapê pertencentes às formações expansivas da Bacia, comparando inclusive com solos de outras regiões. Os massapês foram classificados respectivamente, com base nos ábacos de SEED et alii (1962) e VAN DER MERWE (1964), como de potencialidade média a alta e de elevada a muito elevada. Foram desenvolvidos também estudos detalhados correlacionando a expansão desses solos com umidade e densidade iniciais, com sobrecarga aplicada e finalmente pressão de expansão com expansão permitida.

Os folhelhos ocorrentes na Bacia, na sua maioria são rochas jovens, pré-adensadas e cimentadas. Durante o curso do tempo geológico foram submetidas a pressões geostáticas bastante elevadas, quando comparadas com as pressões atuantes. A resistência dessas rochas é atribuída em parte aos processos diagenéticos. O contato entre os grãos é feito através de agentes cimentantes onde predomina o carbonato de cálcio e no caso dos folhelhos da formação Aliança, o óxido de ferro. Estas rochas são também bastante sensíveis aos alívios de pressão devido ao desconfinamento, provocando fraturamento, abertura progressiva das fraturas pré-existentes e em consequência aumentando a capacidade da rocha em absorver água.

Nos maciços constituídos de folhelhos, a rocha intacta absorve pouca água. Nos períodos chuvosos a água infiltra e percola basicamente pelas suas descontinuidades. A

destruição da cimentação dos folhelhos proporciona uma elevada absorção de água e em consequência manifesta as propriedades de expansão, provocando queda acentuada na resistência ao cisalhamento.

SIMÕES (1986b) fez uma série de ensaios de durabilidade nos folhelhos do Grupo Ilhas, comparando com resultados de folhelhos de várias partes do mundo, apresentados por DUNCAN e PETTY (1968) e MORGENSTERN e EIGENBROD (1974). Constatou-se que estas rochas apresentavam durabilidade baixa e eram muito afetadas pelos ciclos de umedecimento e secagem, provocados pela ação das intempéries. Embora os folhelhos possuissem ligações diagenéticas bem desenvolvidas, sob o efeito da água eram facilmente desagregados e transformados em pouco tempo numa pasta.

Foram estudadas também por SIMÕES (1986b) as propriedades de expansão e de pressão de expansão desses folhelhos, ensaiando-se em laboratório amostras indeformadas com diferentes graus de saturação, usando células convencionais de adensamento em obediência às recomendações da ISRM.

As expansões específicas e as pressões de expansão dos folhelhos intactos atingiram valores muito baixos, respectivamente na faixa de 0,1 a 0,3% e de 20 e 50  $\text{KN/m}^2$ .

Com o objetivo de verificar a influência da cimentação dos folhelhos nas suas propriedades expansivas, foi realizada outra série de ensaios, em amostras denominadas neste

trabalho de deformadas, obtidas destorroando os folhelhos, colocando-as em seguida na umidade desejada e procedendo a compactação por prensagem até se atingir a faixa de índices de vazios correspondente à das amostras indeformadas previamente testadas. Foram ensaiadas cerca de 30 amostras com grau de saturação entre 60 e 90%.

As amostras indeformadas e deformadas, embora certamente tenham estruturas diferentes, foram ensaiadas com índices de vazios e graus de saturação semelhantes. A diferença básica consistiu em que as amostras indeformadas possuíam forte cimentação de carbonato de cálcio, enquanto nas deformadas esta cimentação foi destruída.

Na Figura V.17 verifica-se que a cimentação das partículas dos folhelhos exerce uma influência muito grande sobre a manifestação da expansão e da pressão de expansão. A análise comparativa das curvas da referida Figura mostra que as amostras deformadas possuem expansão e pressão de expansão, em média, cerca de 15 vezes maior do que os valores medidos nas amostras intactas.

Os folhelhos no campo, embora sejam potencialmente expansivos, devido a sua composição mineralógica, rica em minerais argílicos principalmente dos grupos das esmectitas e das micas, possuem cimentação muito forte, que inibe suas propriedades expansivas e confere resistência à rocha sã.

A ação do intemperismo provoca a desintegração dos folhelhos, com relaxação da energia armazenada na

ligação entre os grãos e em consequência o desenvolvimento de tensões laterais e expansões do material.

#### V.9 - PERFIS DE UMIDADE

Na Bacia Sedimentar do Recôncavo foram selecionadas oito encostas naturais, com N.A. profundo, cobrindo praticamente todas as formações expansivas, para instalação de estações sazonais, com o objetivo de verificar ao longo do tempo a variação da umidade dos materiais constituintes dos horizontes de intemperismo dos folhelhos, devido à infiltração das águas das precipitações pluviométricas.

Os trabalhos se prolongaram por dois anos, sendo feitos periodicamente furos à trado e alguns poços de inspeção nessas áreas de estudo, com determinação das umidades do material coletado à cada 20 cm. As observações foram feitas cobrindo períodos de chuvas e de estiagem, sendo os valores obtidos plotados em gráficos específicos para cada local. Constatou-se, que de forma geral, o comportamento dos perfis de umidade e as observações obtidas "in situ" através dos poços de inspeção eram bastante semelhantes nas estações sazonais.

Nas Figuras V.18 e V.19 são apresentadas curvas representativas que traduzem a variação da umidade versus profundidade em duas estações sazonais. Da análise desses trabalhos pode-se tirar as seguintes conclusões:

- as maiores variações de umidade ocorrem nos horizontes

IA, IB e IC, abrangendo espessuras normalmente em torno de 2,0 a 3,0 m.

- as variações de umidade registradas nos períodos chuvosos e de estiagem, diminuem com a profundidade, sendo basicamente influenciadas pelas infiltrações efetivas devida as precipitações pluviométricas.

- as infiltrações de água nos massapês se dão preferencialmente através das trincas de retração; os pontos nas proximidades das trincas apresentam umidades mais elevadas em comparação com os outros locais mais afastados; a frente de saturação não é uniforme com a profundidade.

- no horizonte II de transição as variações de umidade são pequenas e ocorrem basicamente na matriz argilosa.

- no horizonte III, constituído geralmente de folhelhos fraturados, praticamente não há variação de umidade dentro dos blocos de folhelhos, as águas que atingem este horizonte percolam principalmente através das fraturas.

#### V.10 - SUCCÃO

Os taludes em massapês apresentam grande variação de succão ao longo do tempo, que podem ser constatadas através dos estudos dos perfis de umidade efetuados em várias encostas naturais, conforme descrito no item anterior.

Superficialmente as variações de umidade são mais

significativas. Nos períodos chuvosos a camada superficial com espessura entre 1,0 e 1,5 m, atinge grau de saturação médio bastante elevado. Neste trecho é recomendável não se contar com a parcela de succão nas análises de estabilidade. Nos períodos de estiagem mais prolongados, forma-se uma camada superficial ressecada, dura, totalmente trincada, com baixo grau de saturação, com espessura média em torno de 0,50m, onde se desenvolvem succões elevadas.

À profundidades geralmente maiores do que 1,0 m, a distribuição de umidade é bastante heterogênea, sendo mais concentrada nas regiões próximas às trincas, onde em consequência a succão é baixa. Nas zonas pouco mais afastadas das trincas, as succões atingem valores mais elevados. Dessa forma ao longo das superfícies de ruptura de taludes em massapês; pode-se contar com uma parcela média de succão, obtida de uma distribuição bastante irregular ao longo desta superfície.

A influência da succão na estabilidade dos taludes naturais, tem sido estudada por diversos autores, destacando-se os trabalhos de MORGESTERN e MATOS (1975), FREIDLUND(1981) , CAMPOS (1984) e JANBU (1989), enquanto os aspectos referentes a natureza , fatores influentes e medições de forças de succão em solos insaturados, foram discutidos em detalhes por POUSSADA PRESA (1982).

As parcelas de succão devido à capilaridade e à absorção, exercem de forma conjunta grande influência na resistência

ao cisalhamento dos massapês. A grandeza das succões é bastante influenciada pelas características dos massapês, com relação principalmente ao elevado teor de argila e à sua composição mineralógica.

Nos laboratórios da EPABA, utilizando-se panelas de pressão, foram ensaiadas diversas amostras indeformadas de massapê provenientes da intemperização dos folhelhos das formações do Grupo Ilhas e dos sedimentos argilosos da formação S. Sebastião.

As amostras indeformadas foram deixadas imersas em água até total expansão e depois submetidas à estágios de pressões de ar, variando entre 33 e  $1500 \text{ KN/m}^2$ , medindo-se em seguida as umidades estabilizadas para cada succão aplicada.

As curvas características obtidas desses ensaios, mostradas nas Figuras V.20 e V.21, permitem uma avaliação da grandeza das succões que podem se desenvolver nos massapês, dentro da faixa usual de umidade no campo. A utilização de valores mais confiáveis nas análises de estabilidade, fica condicionada basicamente a realização de um maior número de ensaios através de vários métodos e a melhoramentos nas técnicas atualmente empregadas em laboratório, com relação a fatores como: manutenção da estrutura das amostras, ampliação da gama de pressões de ar aplicadas e influência das sobrecargas durante os ensaios. A determinação "in situ" das variações das succões ao longo do perfil de intemperismo do talude, apesar das inconveniências, tem-se constituído também

numa técnica ultimamente muito utilizada em vários países.

#### V.11 - ANÁLISES QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DAS ARGILAS DE PREENCHIMENTO DAS FRATURAS DOS FOLHELHOS

Na Tabela V.17 são apresentados resultados de ensaios químicos e mineralógicos executados no CEPED, sobre as argilas de preenchimento de fraturas dos folhelhos, com valores bastante similares aos obtidos para os massapês.

Estas argilas de alta plasticidade e geralmente com elevada umidade natural, são provenientes basicamente da decomposição "in situ" dos folhelhos nos planos de fratura e eventualmente de argilas lixiviadas dos horizontes intemperizados sobrejacentes.

#### V.12- ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DO SUB-SOLO

Foram realizados no CEPED, ensaios físico-químicos em amostras de água coletadas do sub-solo, através de furos à traço, em profundidades que variaram de 2,0 a 4,0 m, nas formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

As análises tiveram como principal objetivo, verificar o teor de cálcio e as condições do meio, com relação principalmente ao pH, dureza e alcalinidade, para explicar as ocorrências das calcitas plásticas preenchendo as fraturas de alguns folhelhos.

Na Tabela V.18 são apresentados dados característicos

dessas análises, constatando-se o teor relativamente elevado de cálcio e as condições adequadas para precipitação dos carbonatos de cálcio (calcita), com referência a abundância de  $\text{HCO}_3^-$ , pH na faixa de 6 a 8 e dureza média de 695 mg/l.

HOR	VALORES ESTATÍSTICOS	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				LIM. DE CONSISTÊNCIA (%)			ÍNDICE PLAST. Ip (%)	PESO ESP. REAL G
		ARG.	SILTE	AREIA	PED.	CONT. wS	LIQ. wL	PLAST. wP		
IB	MÉDIO	67	22	10	1	22	78	41	37	2.70
	MÁXIMO	78	33	13	2	26	91	46	44	2.73
	MÍNIMO	51	12	4	0	18	64	36	27	2.67
	DESVIO PADRÃO	7	5	2	1	3	7	4	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	11	11	11	11	11	11	11	11	11
IC	MÉDIO	63	27	9	1	19	58	34	25	2.69
	MÁXIMO	67	30	14	2	23	65	39	30	2.72
	MÍNIMO	53	21	5	0	16	49	28	21	2.67
	DESVIO PADRÃO	3	4	2	1	3	6	4	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	5	5	5	5	5	5	5	5	5
II	MÉDIO	61	26	11	2	19	57	32	25	2.69
	MÁXIMO	66	32	21	5	23	66	36	30	2.72
	MÍNIMO	57	22	5	0	17	48	27	21	2.68
	DESVIO PADRÃO	3	4	5	1	2	7	3	-	0.01
	Nº AMOSTRAS	7	7	7	7	7	7	7	7	7
III	MÉDIO	57	31	11	1	19	59	35	24	2.69
	MÁXIMO	59	33	12	2	22	61	40	36	2.71
	MÍNIMO	53	29	9	0	17	58	33	21	2.68
	DESVIO PADRÃO	3	2	1	1	2	1	3	-	0.01
	Nº AMOSTRA	4	4	4	4	4	4	4	4	4

TABELA U.1 - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES DE  
PERFIS TÍPICOS DE INTEMPERISMO DOS FOLHELHOS DA FORMAÇÃO CANDEIAS  
(GRUPO STº AMARO)

NOR.	VALORES ESTATÍSTICOS	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				LIM. DE CONSISTÊNCIA (%)			UMID. MATERIAL Wn (%)	ÍNDICE PLAST. Ip (%)	PESO ESP. REAL 6
		ARG.	SILTE	AREIA	PED.	CONT. wS	Liq. wl	PLAST. Ip			
IB	MÉDIO	69	23	7	1	26	83	35	38	48	2.78
	MÁXIMO	74	33	14	2	34	95	48	50	65	
	MÍNIMO	51	1	4	0	16	66	26	23	37	
	DESVIO PADRÃO	4	4	2	1	6	19	8	7	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12
IC	MÉDIO	63	29	7	1	21	67	31	32	36	2.78
	MÁXIMO	78	42	14	2	28	73	34	46	39	
	MÍNIMO	52	18	3	0	16	42	17	21	29	
	DESVIO PADRÃO	7	9	4	1	6	7	4	8	-	0.01
	Nº AMOSTRAS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
II	MÉDIO	65	23	11	1	29	68	32	34	36	2.78
	MÁXIMO	75	50	17	2	25	94	35	47	35	
	MÍNIMO	34	8	5	0	16	46	23	18	22	
	DESVIO PADRÃO	7	9	5	1	4	15	3	9	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
III	MÉDIO	68	27	4	1	18	65	31	25	38	2.78
	MÁXIMO	71	28	8	2	26	94	40	28	38	2.78
	MÍNIMO	65	21	2	0	15	48	27	15	28	2.78
	DESVIO PADRÃO	3	3	2	1	5	19	6	5	4	0
	Nº AMOSTRAS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

TABELA 0.2\_ ESTUDO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES DE  
 PERFIS TÍPICO DE INTEMPIRISMO DOS FOLHELHOS DA FORMAÇÃO MARFIM  
 (GRUPO ILHAS)

HOR	VALORES ESTATÍSTICOS	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				LIM. DE CONSISTÊNCIA (%)			ÍNDICE PLAST.	PESO ESP. REAL G
		ARG.	SILTE	AREIA	PED.	CONT. vS	LIQ. vL	PLAST. vP		
IB	MÉDIO	67	21	11	1	18	80	41	39	2.70
	MÁXIMO	78	34	18	2	22	95	45	59	2.74
	MÍNIMO	48	12	3	0	15	54	26	23	2.67
	DESVIO PÁDRÃO	7	6	6	1	3	11	7	-	0.03
	Nº AMOSTRAS	16	16	16	16	4	16	16	16	16
IC	MÉDIO	63	27	9	1	20	65	35	40	2.70
	MÁXIMO	72	33	16	2	29	100	37	65	2.75
	MÍNIMO	47	16	9	0	15	52	27	20	2.68
	DESVIO PÁDRÃO	9	4	4	1	5	14	10	-	0.03
	Nº AMOSTRAS	11	11	11	11	5	11	11	11	11
II	MÉDIO	58	28	13	1	20	64	33	31	2.71
	MÁXIMO	73	34	19	2	30	105	37	69	2.75
	MÍNIMO	47	16	9	0	15	52	27	22	2.68
	DESVIO PÁDRÃO	7	6	3	1	6	17	4	-	0.03
	Nº AMOSTRAS	8	8	8	8	6	8	8	8	8
III	MÉDIO	61	28	10	1	19	62	34	28	2.70
	MÁXIMO	70	40	16	6	28	99	41	59	2.72
	MÍNIMO	49	20	6	0	15	48	29	19	2.68
	DESVIO PÁDRÃO	7	6	3	2	4	14	4	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	10	10	10	10	8	10	10	10	10

TABELA V.3 - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES DE  
PERFIS TÍPICOS DE INTEMPERISMO DOS FOLHEIROS NÃO DIFERENCIADOS DA  
FORMAÇÃO CANHEIAS (G. ST9. AMARO) E FORMAÇÃO MARFIM (G. ILHAS)

NºB	VALORES ESTATÍSTICOS	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				LIM. DE CONSISTÊNCIA (%)			ÍNDICE PLAST.	PESO ESP. REAL G
		ARG.	SILTE	AREIA	PED.	CONT. vS	LIQ. vL	PLAST. vP		
IB	MÉDIO	67	23	9	1	22	76	36	48	2.71
	MÁXIMO	76	33	11	3	32	106	45	63	2.75
	MÍNIMO	55	15	4	0	10	43	23	20	2.67
	DESVIO PADRÃO	4	3	3	1	3	15	6	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	46	46	46	46	41	46	46	46	46
IC	MÉDIO	61	29	9	1	21	63	39	33	2.71
	MÁXIMO	73	58	14	3	30	97	42	55	2.75
	MÍNIMO	44	19	6	0	13	38	17	13	2.67
	DESVIO PADRÃO	7	6	2	1	5	12	5	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	29	29	29	29	21	29	29	29	29
II	MÉDIO	56	32	11	1	19	57	28	29	2.73
	MÁXIMO	69	54	16	2	26	67	34	38	2.77
	MÍNIMO	29	15	4	0	5	35	21	14	2.70
	DESVIO PADRÃO	13	11	3	1	8	9	4	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	15	15	15	15	5	15	15	15	15
III	MÉDIO	63	30	6	1	16	62	31	31	2.72
	MÁXIMO	71	36	13	2	17	94	40	54	2.77
	MÍNIMO	58	21	4	0	14	48	22	26	2.70
	DESVIO PADRÃO	4	4	3	1	2	19	8	-	0.02
	Nº AMOSTRAS	6	6	6	6	2	6	6	6	6

TABELA V.4 - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES DE  
PERFIS TÍPICOS DE INTEMPEBISMO DOS FOLHEIROS NÃO DIFERENCIADOS DAS  
FORMAÇÕES MARFIN E POJUCA PERTENCENTES AO GRUPO ILHAS.

SEDIMENTOS	VALORES ESTATÍSTICOS	COMPOSIÇÃO GRUMLÔMETRICA (%)				LIM. DE CONSISTÊNCIA (%)			INDICE PLAST.	PESO ESP. REAL G
		ARG.	SILTE	AREIA	PED.	CONT. wS	LIQ. wL	PLAST. Ip		
AREIAS	MÉDIO	18	28	61	1	-	34	19	15	2.67
	MÁXIMO	32	36	76	2	-	48	23	21	2.69
	MÍNIMO	8	12	53	0	-	HP	HP	HP	2.66
	DESVIO PADRÃO	10	9	10	1	-	5	3	-	0.81
	Nº AMOSTRAS	15	15	15	15	-	15	15	15	14
ARGILAS	MÉDIO	59	28	12	1	21	57	28	29	2.71
	MÁXIMO	70	46	26	2	25	86	37	43	2.74
	MÍNIMO	43	14	2	0	16	33	20	18	2.69
	DESVIO PADRÃO	7	10	6	1	5	14	6	-	0.82
	Nº AMOSTRAS	17	17	17	17	3	17	17	17	7

TABELA V.5 - ESTUDO ESTATÍSTICO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DA FORMAÇÃO  
SÃO SEBASTIÃO.

DETERMINAÇÕES	Nº DE AMOSTRAS	VALORES ESTATÍSTICOS				
		MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	D. PABRZO	
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	S;O <sub>2</sub>	26	56.9	67.1	49.7	4.8
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	18.3	22.0	15.1	2.1
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26	8.8	13.0	4.9	2.2
	TiO <sub>2</sub>	15	1.0	1.9	0.5	0.3
	CaO	25	0.9	3.7	0.2	1.1
	MgO	26	1.6	2.8	0.6	0.6
	Na <sub>2</sub> O	19	0.3	0.9	0.2	0.2
	K <sub>2</sub> O	19	2.6	4.8	1.8	1.1
CATIONS TBOCAVEIS (Meq/100g)	Ca	35	9.8	52.5	0.2	14.9
	Mg	34	10.3	26.4	0.8	5.7
	Al	30	1.0	2.3	0.1	0.9
	Na	32	0.9	2.5	0.1	1.2
	X	35	0.5	1.4	0.1	0.3
CAPACIDADE TBOCA CATIGMICA (Meq/100g)	27	21.0	39.6	6.0	8.8	
pH	8	5.9	7.7	4.9	1.3	

TABELA V.6 - ANÁLISES QUÍMICAS DOS MASSAPES (HOB. IB) DOS GRUPOS SANTO AMARO E ILHAS.

DETERMINAÇÕES		Nº AMOSTRAS	VALORES ESTATÍSTICOS			
			MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	D. PÁDRÃO
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	S;O2	7	44.2	55.2	33.7	6.8
	Al2O3	7	12.9	16.2	7.5	3.1
	Fe2O3	7	6.5	8.4	5.4	1.0
	TiO2	7	0.8	1.0	0.4	0.2
	CaO	7	12.0	18.6	7.2	3.9
	MgO	7	3.0	5.3	2.2	1.2
	Na2O	7	0.7	0.9	0.5	0.2
	K2O	7	2.1	2.4	0.7	0.6
CATIONS TROCÁVEIS (Meq/100g)	Ca	7	21.1	30.2	15.8	6.5
	Mg	7	10.4	14.9	5.3	4.0
	Al	7	0.04	0.05	0.01	0.02
	Na	7	0.5	0.6	0.1	0.3
	K	7	0.4	0.8	0.1	0.2
CAPACIDADE TROCA-CATIÔNICA (Meq/100g)		4	30	56.6	11.3	8.0
pH		7	8.1	8.3	8.0	0.1

TABELA V.7 - ANÁLISES QUÍMICAS DOS FOLHEIROS (HOB. III) DOS GRUPOS  
SANTO AMARO E ILHAS.

FORMAÇÃO	AMOSTRA Nº	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA							
		MASSAPE ( HOR.IB )				FOLHELHO ( HOR.III )			
		MONT. + CAMADAS MISTAS ILLI.-MONT.	ILLITA	CALCINITA	OUTROS	MONT. + CAMADAS MISTAS ILLI.-MONT.	ILLITA	CALCINITA	OUTROS
MAO DIFERENCIADO	1	75	25	-	-	50	50	-	-
F. CANDELAS (G. S. AMARO) E F. MARFIM (G. ILHAS)	2	80	20	-	-	75	25	-	-
	3	50	50	-	-	50	50	-	-
	4	80	20	-	-	75	25	-	-
	5	85	15	-	-	75	25	-	-
	6	65	25	10	-	60	35	10	-
	7	90	5	-	5% CLOR- BITA	80	10	10	-
	8	75	20	5	-	70	25	5	-
F. MARFIM (G. ILHAS)	9	75	20	5	-	70	25	5	
	10	85	5	10	-	55	35	10	
MAO DIFERENCIADO	11	60	25	15	-	50	35	15	-
F. MARFIM (G. ILHAS) E F. POJUCA (G. ILHAS)	12	95	-	5	-	50	40	10	-
	13	75	20	5	-	70	25	5	-
	14	75	25	-	-	60	30	10	-

TABELA V.8 - ANÁLISE COMPARATIVA DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA FRAÇÃO ARGILA DOS MASSAPES E DOS RESPECTIVOS FOLHELHOS QUE LHE DERAM ORIGEM.

AMOSTRA Nº	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)		
	MONTMOBILONITA	ILLITA	CAULINITA
16	—	20	80
17	—	25	75
18	—	10	90
19	—	10	90

TABELA V.9 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA SEMI-QUANTITATIVA DA  
FRAÇÃO ARGILA DOS MASSAPES DA F. SÃO SEBASTIÃO

AMOSTRA Nº	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)		
	MONTMOBILONITA	ILLITA	CAULINITA
1	—	5	95
2	—	5	95
3	—	5	95
4	—	5	100

TABELA V.10 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA SEMI-QUANTITATIVA DA  
FRAÇÃO ARGILA DOS SEDIMENTOS GRANULARES  
(AREIA SILTO ARGILOSA) DA F. SÃO SEBASTIÃO

HOR	VARIACAO ESPESSURA (m)	VARIACAO SPT	GRANULOMETRIA (%)			LIMITES (%)			INDICE PLAST.	PESO ESP. REAL G
			ARGILA	SILTE	AREIA	CONT. eS	Liq. wL	PLAST. wP		
IA	0.10 - 1.00	1 - 5	73	18	9	12	93	45	48	2.70
IB	1.00 - 5.00	3 - 18	68	21	11	14	97	47	50	2.74
IC + II	1.00 - 3.00	7 - 20	64	27	9	20	71	38	33	2.74
III	-	> 20	61	23	16	19	62	34	28	2.70

TABELA V.11 a - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE UM PERFIL PEDOGENÉTICO DE FOLHELHOS  
DE UMA ENCOSTA NATURAL COM H.A. PROFUNDO.

HOR	pH	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								CATIONS TROCAVEIS (meq/100g)						COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%) *	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	Na	K	A	B	
IA	7.8	53.7	14.5	7.9	0.8	3.0	2.4	0.5	2.0	48.0	4.7	0.1	0.2	0.9	80	20	
IB	7.7	55.1	15.1	8.2	0.9	1.3	2.5	0.3	4.0	52.4	7.5	0.1	0.3	0.7	90	10	
IC + II	7.7	57.8	15.5	7.0	0.9	1.5	2.4	0.7	2.3	33.0	5.9	0.1	0.3	0.5	70	30	
III	8.1	33.7	7.5	6.6	0.4	18.6	5.3	0.8	0.7	19.9	5.3	0.1	0.1	0.1	10	90	

\* A - Montmorilonita + camadas mistas ilita - montmorilonita; B - Ilita

TABELA V.11 b - ENSAIOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UM PERFIL PEDOGENÉTICO DE FOLHELHOS  
DE UMA ENCOSTA NATURAL COM H.A. PROFUNDO.

NOR	VARIACAO ESPESSURA (m)	VARIACAO SPT	GRAUHOMETRIA (%)			LIMITES (%)			INDICE PLAST.	PESO ESP. REAL G
			ARGILA	SILTE	AREIA	CONT. VS	LIQ. WL	PLAST. WP		
IA	0.50 - 2.00	1 - 5	73	22	5	14	98	52	46	2.72
IB	2.00 - 7.00	3 - 10	79	21	9	21	89	47	41	2.70
IC	1.00 - 2.00	7 - 15	73	22	5	23	103	45	58	2.72
II	1.00 - 2.00	10 - 20	72	21	7	20	84	41	43	2.74
III	-	> 20	73	21	6	12	56	35	21	2.73

TABELA V.12 a - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE UM PERFIL PEDOGENÉTICO DE FOLHELHOS  
DE UMA ENCOSTA NATURAL COM H.A POUCO PROFUNDO.

NOR	pH	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								CATIONS TROCÁVEIS (meq/100g)						COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%) *	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	Na	X	A	B	
IA	5.5	54.4	15.5	8.2	0.9	0.7	1.8	0.4	4.4	26.6	9.6	0.1	0.2	1.0	88	20	
IB	5.0	55.3	17.4	9.4	1.0	0.4	1.9	0.5	4.8	14.5	11.0	2.3	0.7	0.8	85	15	
IC	4.9	54.2	17.4	9.2	1.0	0.5	1.9	0.4	4.7	19.3	14.5	1.2	1.0	0.8	85	15	
II	8.0	55.2	16.2	8.4	1.0	1.2	2.4	0.5	2.4	29.6	14.9	0.1	0.5	0.8	70	30	
III	8.1	45.2	12.9	6.4	0.8	11.0	2.2	0.7	2.3	18.8	11.1	0.1	0.5	0.3	70	30	

\* A - Montmorilonita + canadas mistas ilita - montmorilonita; B - Ilita

TABELA V.12 b - ENSAIOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE UM PERFIL PEDOGENÉTICO DE FOLHELHOS  
DE UMA ENCOSTA NATURAL COM H.A POUCO PROFUNDO.

MATERIAL ENSAIADO	AMOSTRA Nº	PARAMETROS DE RESISTENCIA			
		PICO		RESIDUAL	
		c'	φ'	c' r	φ' r
		(KN/m²)	(o)	(KN/m²)	(o)
ARGILA SILTOSA COM AREIA (MASSAPE)	1	10	17	0	15
	2	10	17	0	12
	3	6	16	0	12
	4	5	18	0	13
	5	10	19	0	13
	6	8	19	0	12
	7	5	21	0	15
	8	7	21	0	12
	9	4	22	0	13
	10	14	20	0	16
CONTATO COLUVIO x ARGILA SILTOSA COM AREIA (MASSAPE)	11 *	13	18	-	-
	12 *	10	18	-	-
FOLHEIROS COM FRATURAS PREENCHIDAS COM ARGILAS PLÁSTICAS	13 *	5	20	-	-
	14 *	5	18	-	-
HOR. IC + II	15 *	8	19	-	-

\* ensaios Triaxiais CU

TABELA V. 13 - PARAMETROS DE RESISTENCIA AO CISALHAMENTO DE MATERIAIS  
DAS FORMACOES DOS GRUPOS SANTO AMARO E ILHAS.

MATERIAL ENSAIADO	AMOSTRA Nº	PARAMETROS DE RESISTENCIA			
		PICO		RESIDUAL	
		c' (kN/m <sup>2</sup> )	φ'	c' r (kN/m <sup>2</sup> )	φ' r
ARGILA SILTOSA COM AREIA (MASSAPE)	1	20	18	0	16
	1 *	40	10	-	-
	2	90	16	0	13
	3	60	20	0	18
	3 *	60	22	-	-
	5	25	15	0	14
	11	25	15	0	15
	11 *	30	15	-	-
	15	20	18	0	17
	15 *	80	12	-	-
	27	10	21	0	17
	28	17	21	0	16
ARGILA ARENOSA COM SILTE	33	29	29	-	-
AREIA SILTO-ARGILOSA	4	0	33	0	33
	4 *	0	31	-	-
	7	0	31	0	31
	7 *	50	22	-	-
	8	0	32	0	32
	8 *	0	31	-	-
	9	0	32	0	32
	9 *	0	35	-	-
	10	25	29	0	29
	10 *	0	29	-	-
	16	0	32	0	29
	16 *	0	28	-	-
	17	10	30	0	30
	18	37	31	0	31
	19	6	24	0	22
	20	10	23	0	20
	21	10	25	0	22
	22	0	29	0	29
	23	6	27	0	25
	24	13	28	0	25
	25	8	30	0	27
	26	10	27	0	25
SILTE ARGILLO-ARENOSO COMPACTO	6	60	32	0	27
	6 *	150	23	-	-
	12	175	29	0	26
	12	80	39	0	27
	13	160	44	0	26
	13 *	170	28	-	-
	14	160	29	0	19
CONTATO AREIA SILTO-ARGI- LOSA X ARGILA SILTOSA COM AREIA (MASSAPE)	14	270	33	0	24
	29	10	26	0	25
	30	10	22	0	20
	31	12	30	0	28
	32	10	25	0	22

\* ensaios triaxiais CU

TABELA U.14 - PARAMETROS DE RESISTENCIA AO CISALHAMENTO DOS SEDIMENTOS  
DA FORMACAO S. SEBASTIAO.

FORMAÇÃO	AMOSTRA Nº	UMID. INICIAL W <sub>1</sub> (%)	PESO ESP. SECO P (Kg/m <sup>3</sup> )	ÍNDICE VAZIOS INICIAL e	GRAU SAT. INICIAL (%)	P'º (Kg/m <sup>2</sup> ) *	O C B **
NAO DIFERENCIADO	1	37	11,63	1,237	77	150	9
F. CONDEIAS (G. STº AMARO) E F. MARFIM (G. ILHAS)	2	32	12,31	1,231	73	130	8
	3	46	10,53	1,555	79	120	8
	5	27	13,60	1,000	73	64	4
F. CONDEIAS (G. STº AMARO)	6	39	12,40	1,169	90	110	6
	7	42	11,78	1,275	88	190	11
	8	37	11,46	1,381	73	86	6
	9	34	12,05	1,116	82	110	2
F. S. SEBASTIÃO (G. MASSACARA)	10	36	13,01	1,003	90	130	3
	11	9	17,43	0,549	46	100	2
	12	17	17,30	0,560	81	110	3
F. ALIANÇA	13	12	14,56	0,868	37	1000	19
(G. BROTAIS)	14	13	15,10	0,801	26	860	16

\* P'º : pressão de pré - adensamento

\*\* OCB: grau de pré - adensamento

TABELA U.15 - ESTIMATIVA DO GRAU DE PRÉ - ADENSAMENTO DOS MASSAPES DA BACIA SEDIMENTAR DO RECONCAU.

MATERIAL	COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE K (cm/seg)		
	20		
COLUVIOS	$10^{-2}$ a $10^{-4}$		
HOR. IA + IB (massapés)	$10^{-5}$ a $10^{-7}$		
HOR. IC + II (folhelhos intemperizados e fraturados)	$10^{-3}$ a $10^{-5}$		
HOR. III folhelhos sãos	$10^{-9}$ a $10^{-12}$		
folhelhos pouco fraturados	$10^{-5}$ a $10^{-7}$		
folhelhos medianamente fraturados	$10^{-3}$ a $10^{-5}$		
folhelhos muito fraturados	< $10^{-3}$		
SEDIMENTOS F. S. SEBASTIÃO			
argilas silto - arenosas (massapés)	$10^{-4}$ a $10^{-6}$		
areias siltosas com argila	$10^{-3}$ a $10^{-5}$		

TABELA V.16 - VARIAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE  
 "IN SITU" DE MATERIAIS DA BACIA SEDIMENTAR  
 DO RECONCAUO.

DETEBMINAÇÕES		AMOSTRAS	
		1	2
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	SiO <sub>2</sub>	47,2	46,8
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,1	15,2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,8	4,6
	CaO	11,4	8,5
	MgO	2,2	2,2
	Na <sub>2</sub> O	0,6	0,7
	K <sub>2</sub> O	2,1	2,1
	TiO <sub>2</sub>	1,0	1,0
CATIONS IBROCAVEIS (Meq/100g)	Ca	22,4	21,8
	Mg	9,8	9,8
	Na	3,2	2,4
	K	0,2	0,3
pH		8,4	8,4
COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (%)	MONTMBILONITA	60	50
	ILITA	25	30
	CAOLINITA	15	10

TABELA V.17 - ANÁLISE QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS ARGILAS DE PREENCHIMENTO  
DE FRATURAS DE FOLHELHOS .

DETERMINAÇÕES	T E O R	
PH	6,8	
ALCALINIDADE $\text{HCO}_3^-$	655	mg/l $\text{CaCO}_3$
ALCALINIDADE $\text{CO}_3^-$	ZERO	mg/l $\text{CaCO}_3$
ALCALINIDADE $\text{HO}^-$	ZERO	mg/l $\text{CaCO}_3$
COR	50	mg/l Pt
BUREZA	695	mg/l $\text{CaCO}_3$
SULFATOS	< 5	mg/l $\text{SO}_4^{2-}$
SÍLICA	7,6	mg/l $\text{SiO}_2$
CLORETOIS	87	mg/l $\text{Cl}^-$
COND. ESP. 25 °C	1.170	uhmhos/cm
SÓLIDOS TOTAIS	110.212	mg/l
SÓLIDOS SOLÚVEIS	7.068	mg/l
SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	103.144	mg/l
CÁLCIO	216	mg/l Ca
MAGNÉSIO	38	mg/l Mg
POTÁSSIO	7,9	mg/l K
SÓDIO	63,5	mg/l Na
MAT. SEBIMENTÁVEL	550	mg/l
CARBONATOS	ZERO	mg/l $\text{CO}_3^{2-}$

TABELA V. 18 - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DO  
SUBSOLO DA FORMAÇÃO CANDEIAS.

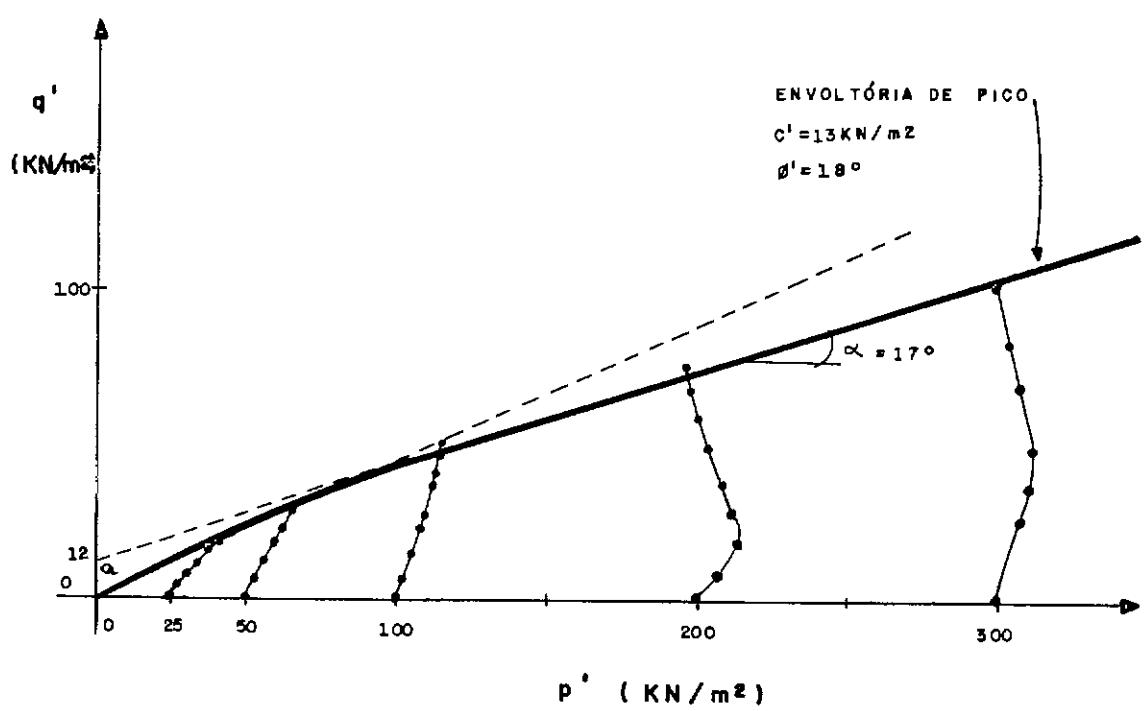
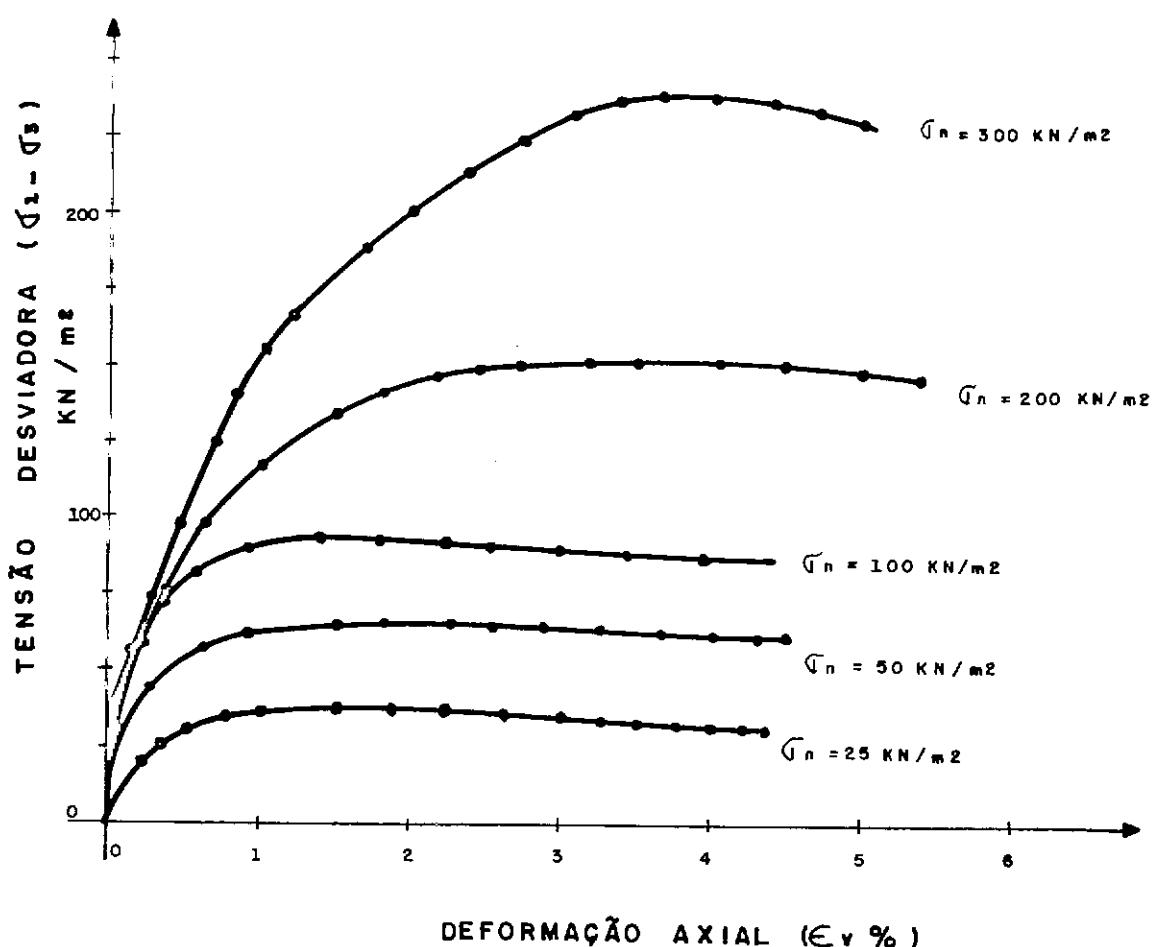


Fig. V.1 – Envoltória de pico e curvas tensão x def. axial obtidas de ensaios triaxiais CU de massapés (Hor IB) do Grupo Ilhas.

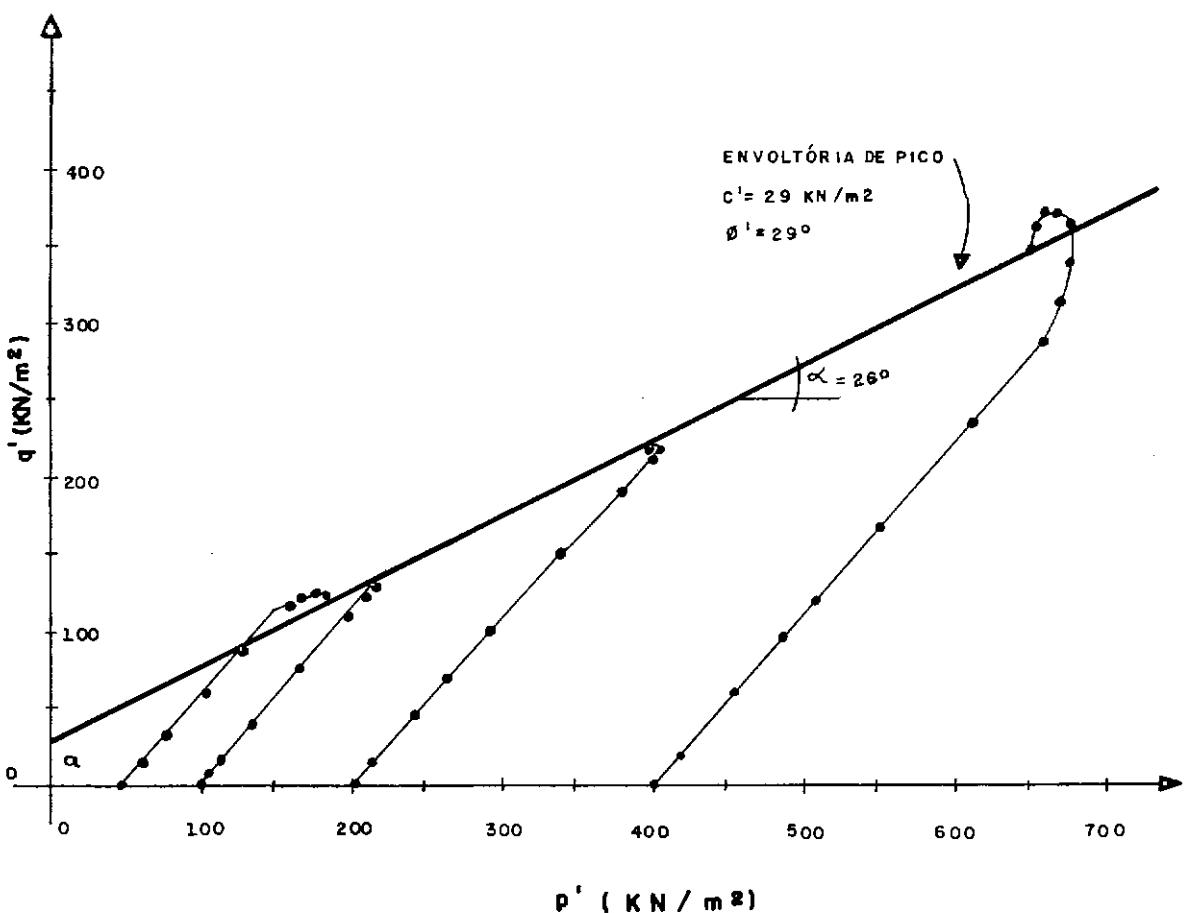
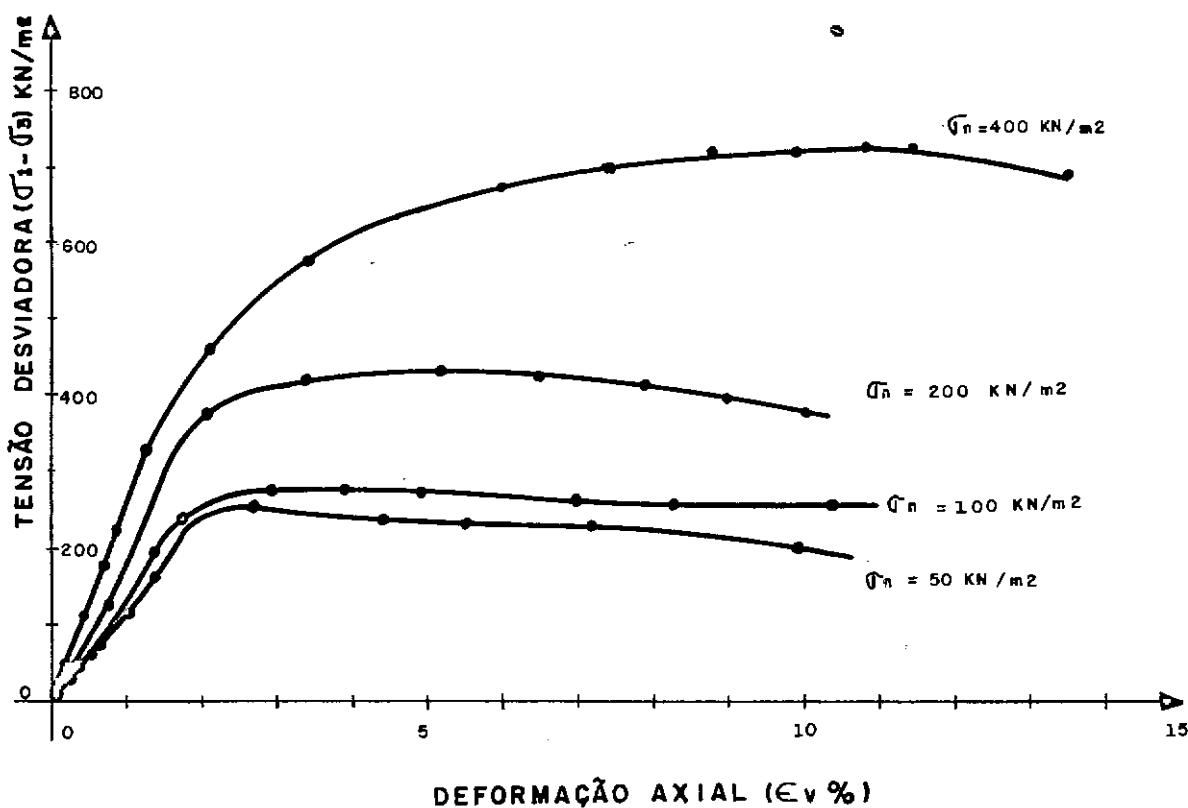


Fig.VI.2 – Envoltória de pico e curvas tensão x def. axial obtidas de ensaios triaxiais CU de argilas arenosas com silte (massapê) da formação São Sebastião.

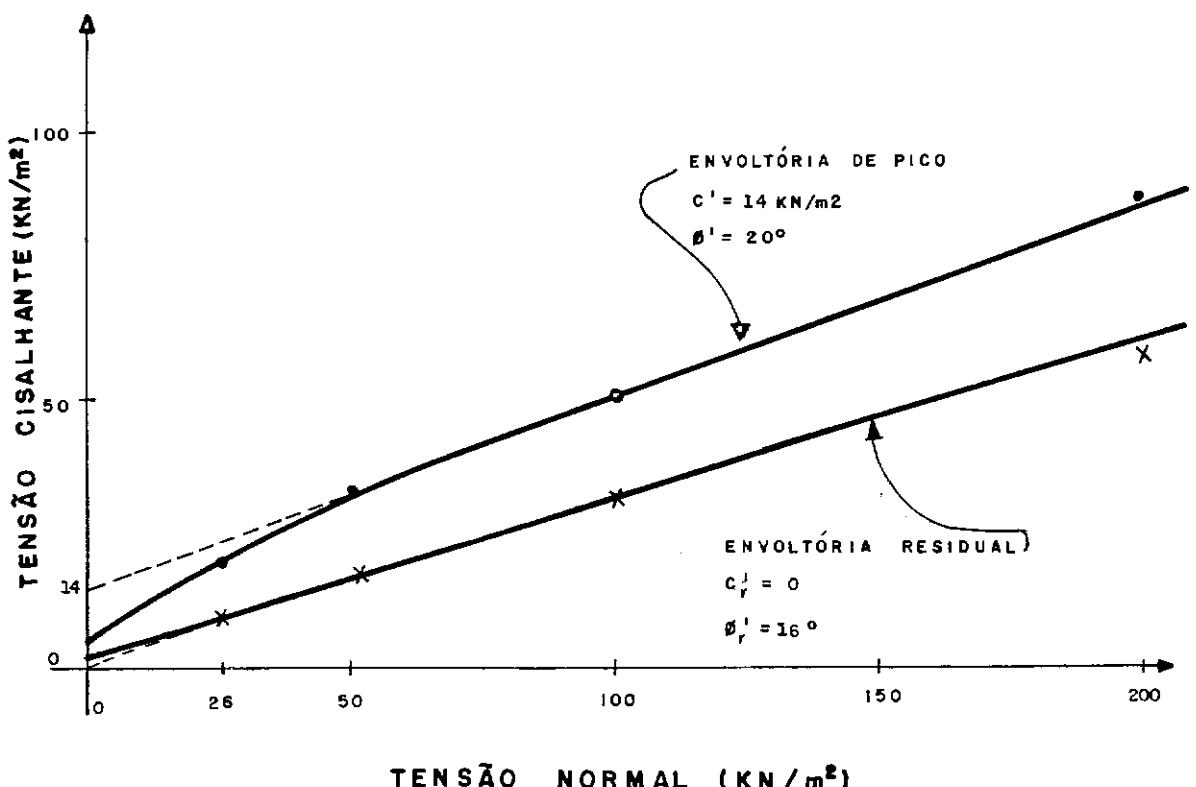
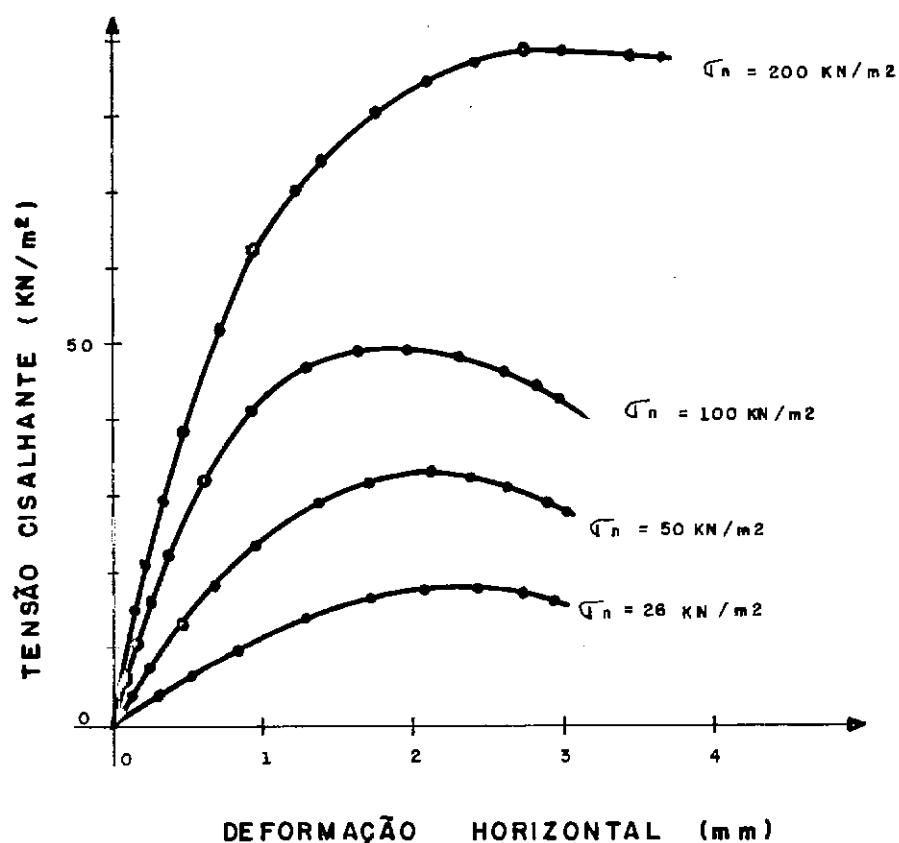


Fig. V.3 - Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, de massapés (Hor. IB) do Grupo Ilhas.

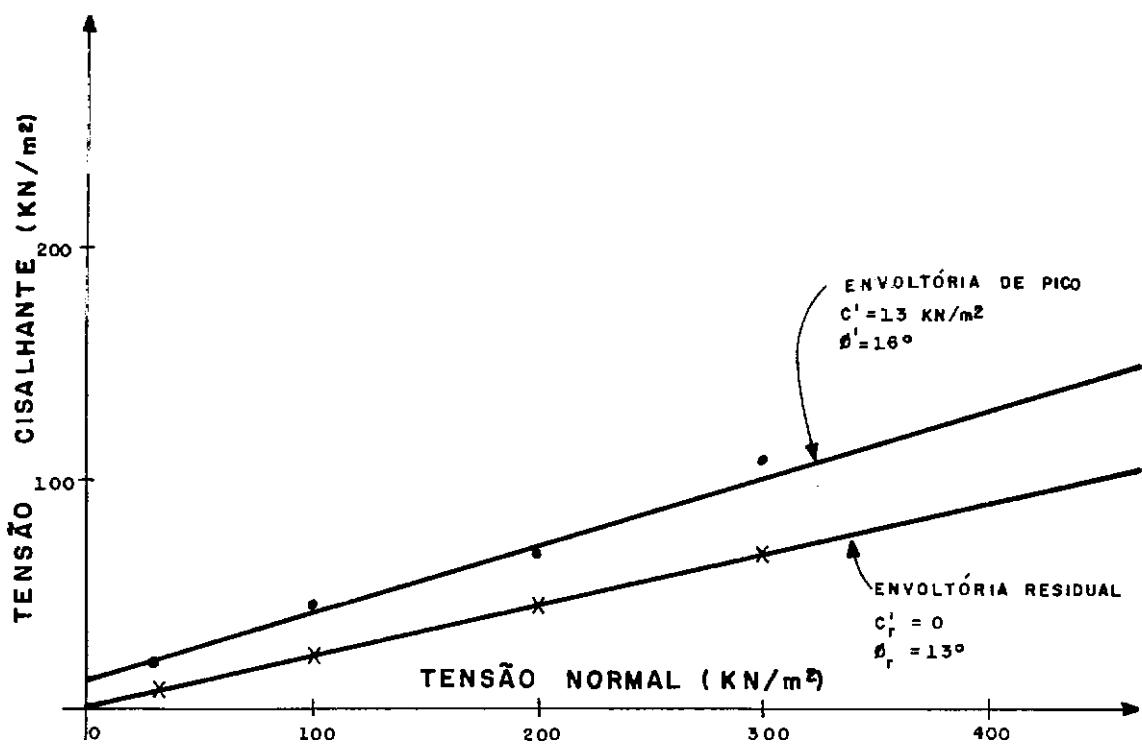
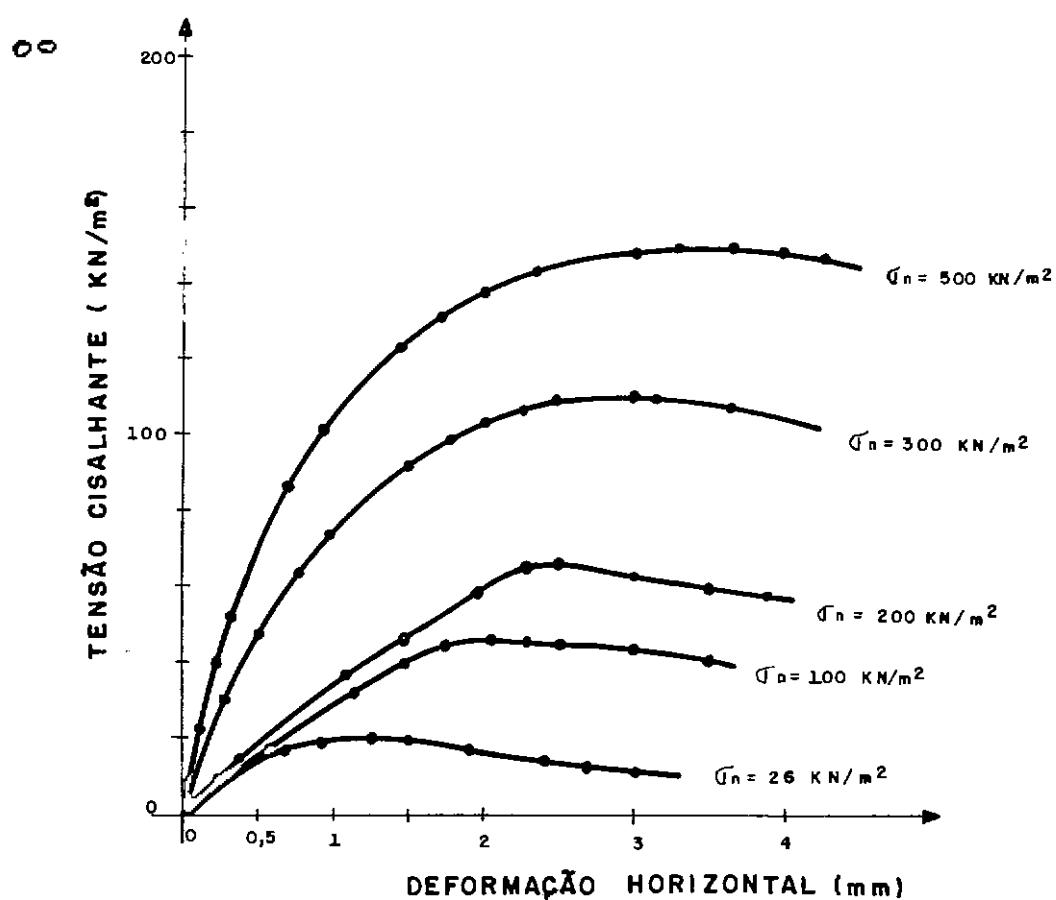


Fig. V. 4 - Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD<sub>r</sub> reversível de massapés dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

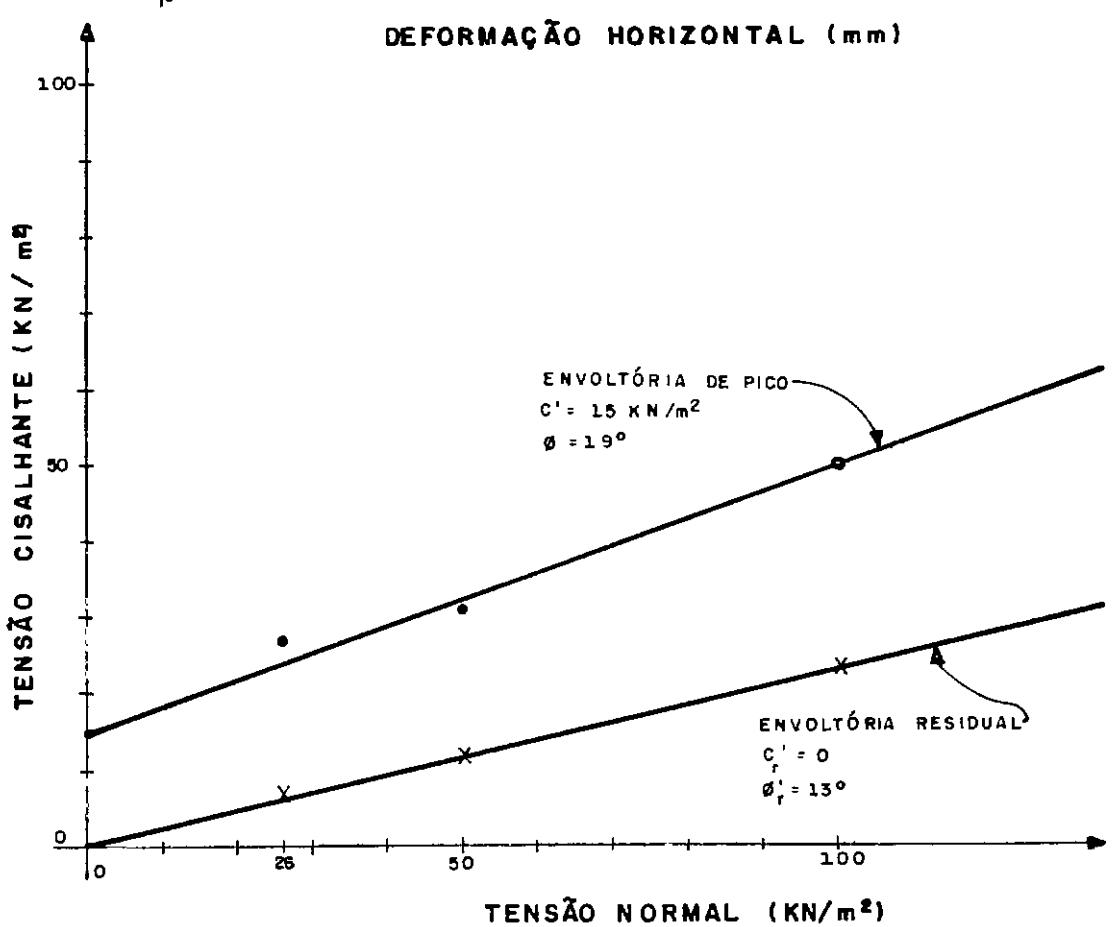
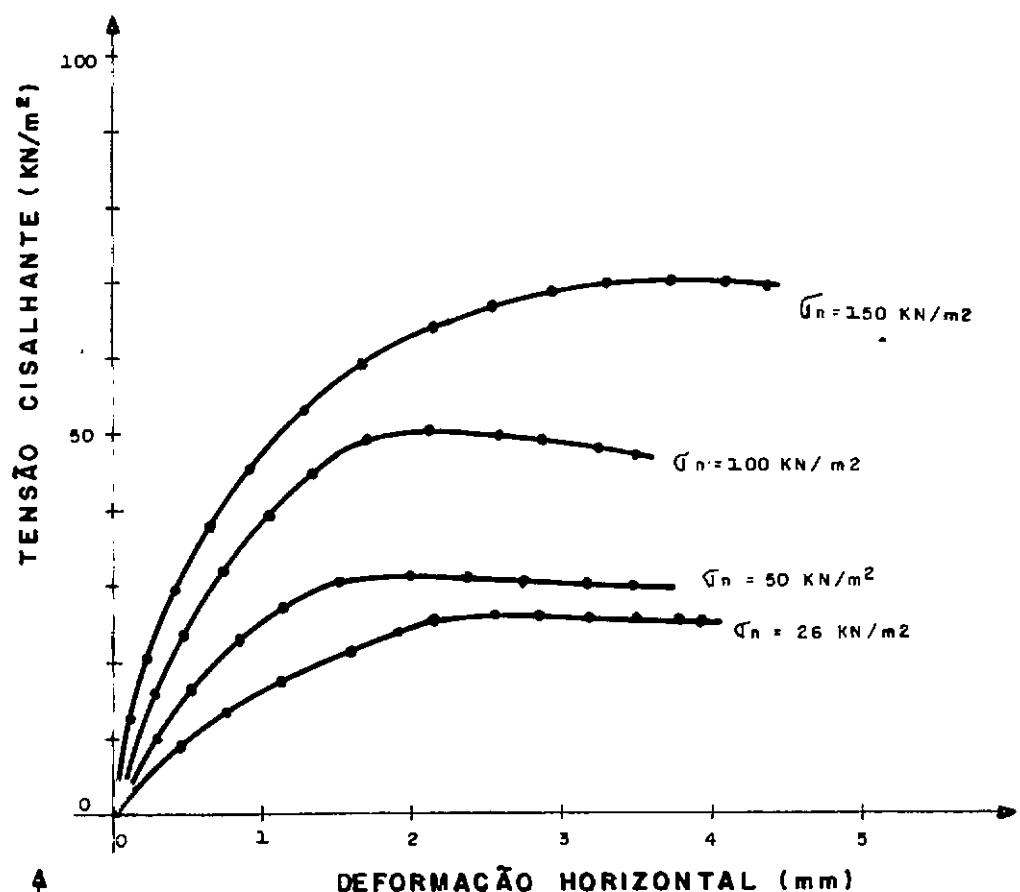


Fig. V.5 - Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível de massapés dos Grupos Santo Amaro e Ilhas.

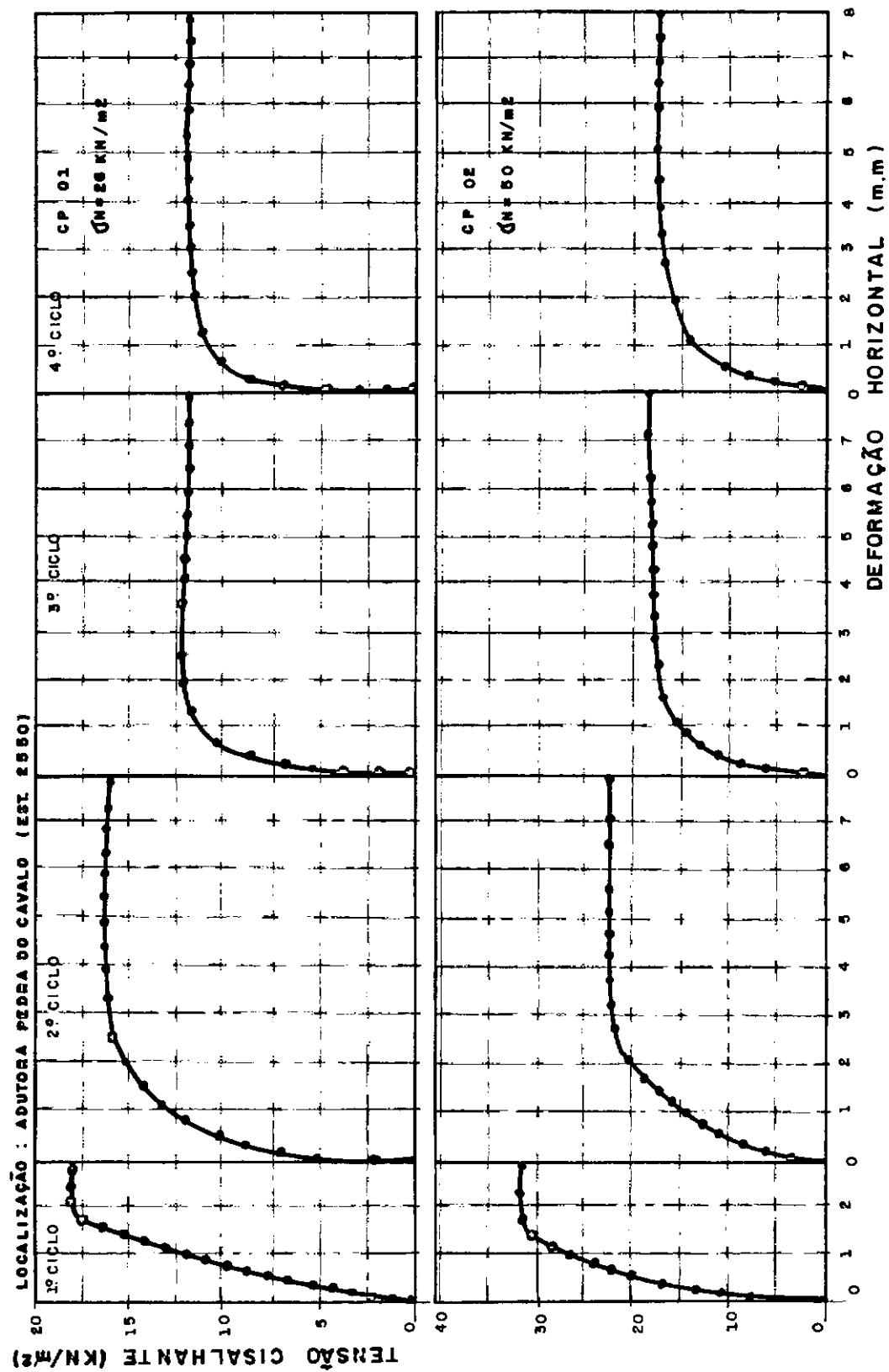


Fig.V.6d - Ciclos de císsalhamento em amostras de massapés (Hor.IIB) do Grupo Ilhas para determinação da envoltória residual.

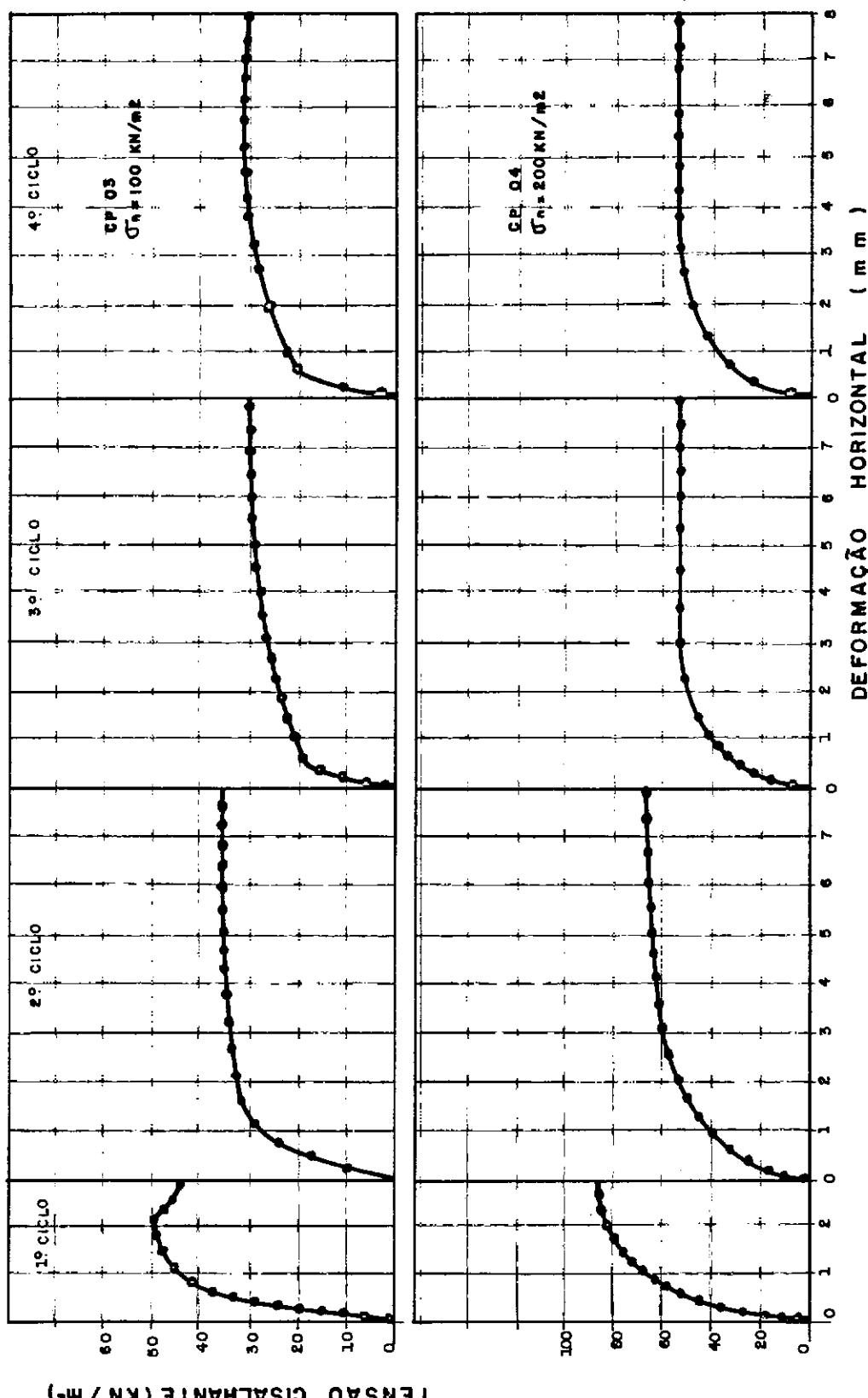


Fig. VI. 6 b — Ciclos de cisalhamento em amostras de massapés (HorIB) do Grupo Ilhas para determinação da evolução da resistência residual.

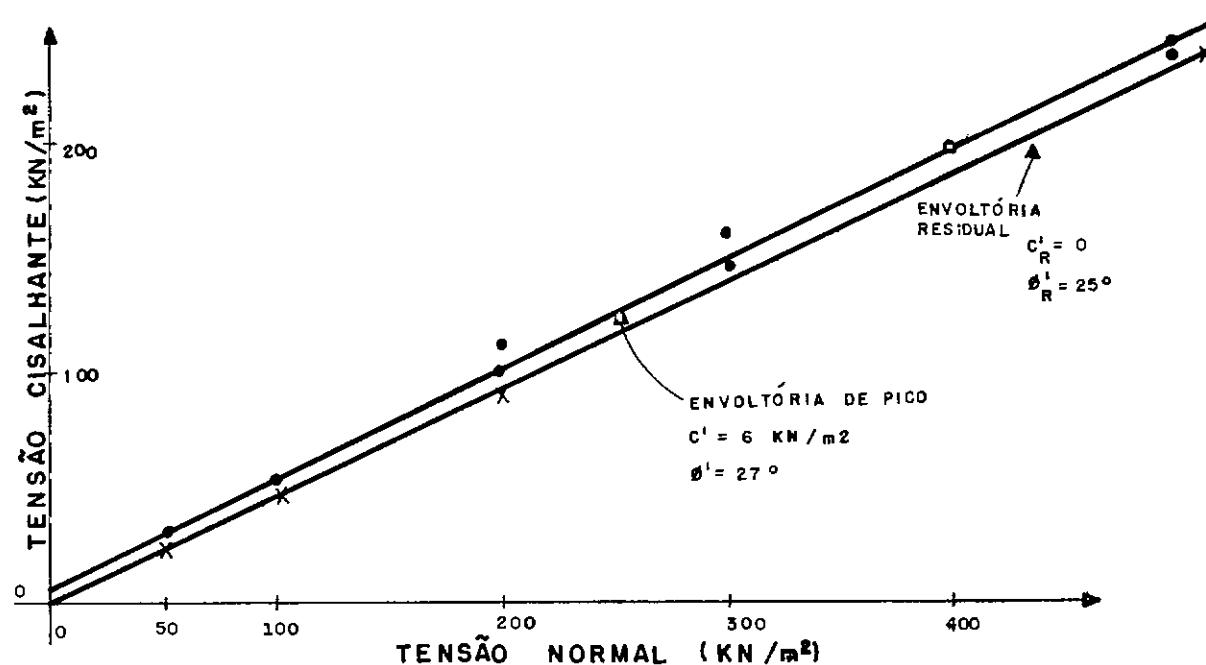
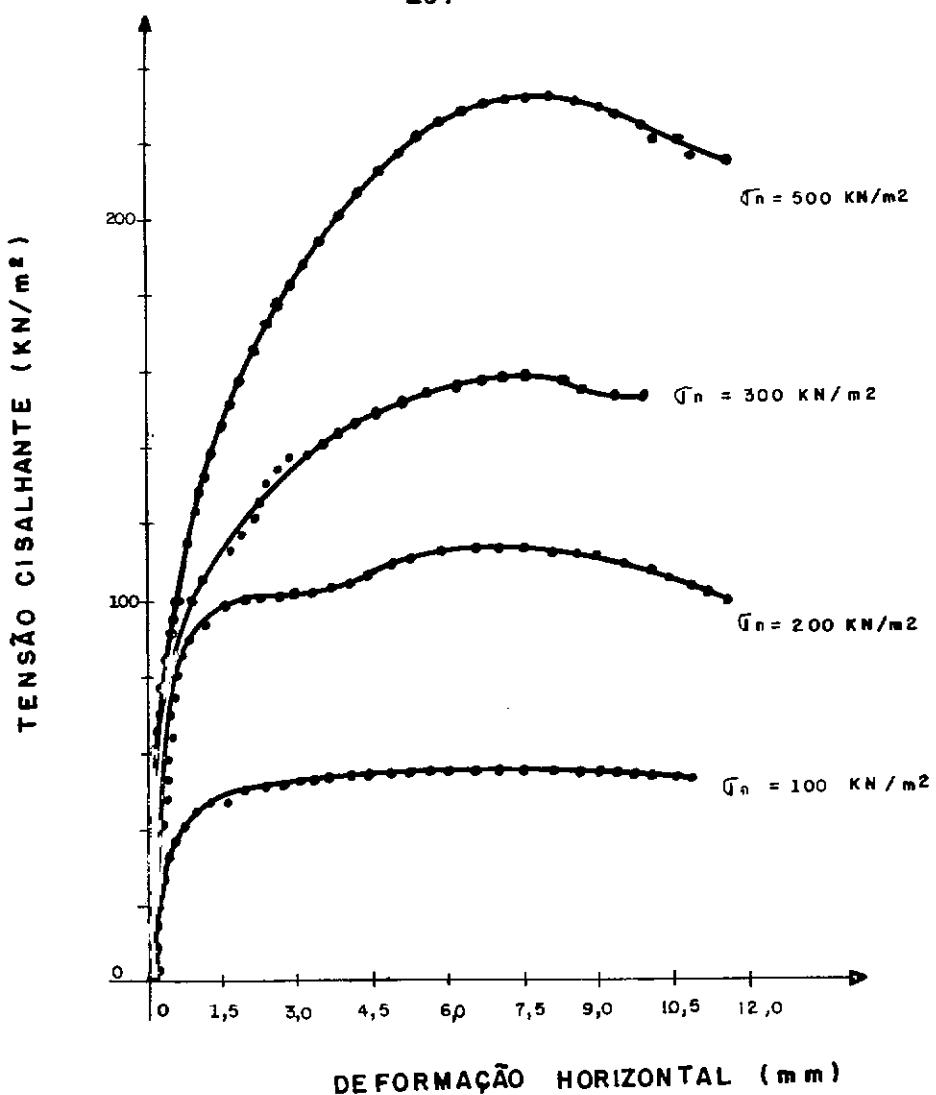


Fig.V.7 – Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto das areias silto argilosas da formação São Sebastião.

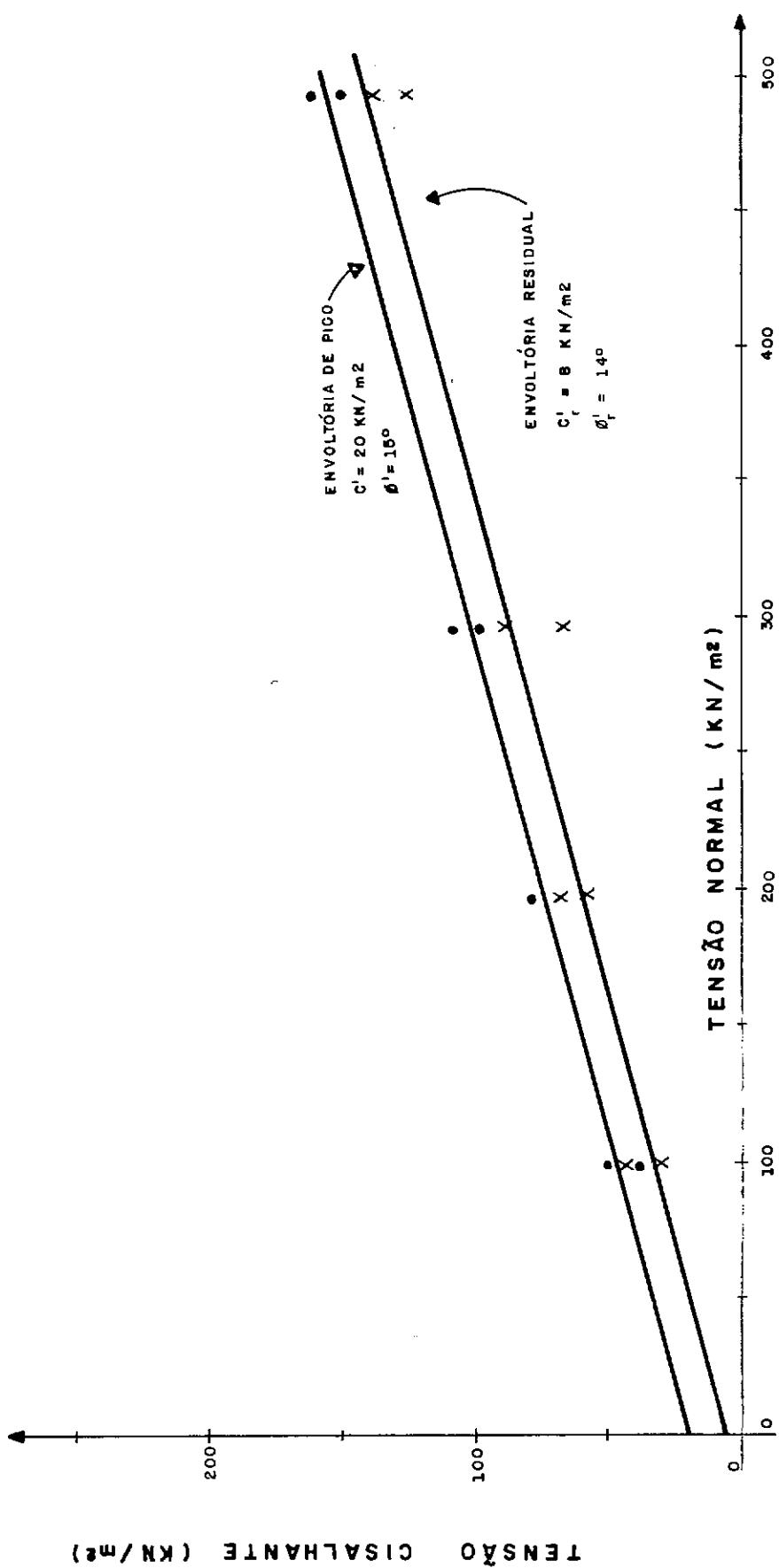


Fig. IV. 8 – Envoltórias de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, de materiais de transição (Hor. IC) da formação Aliança.

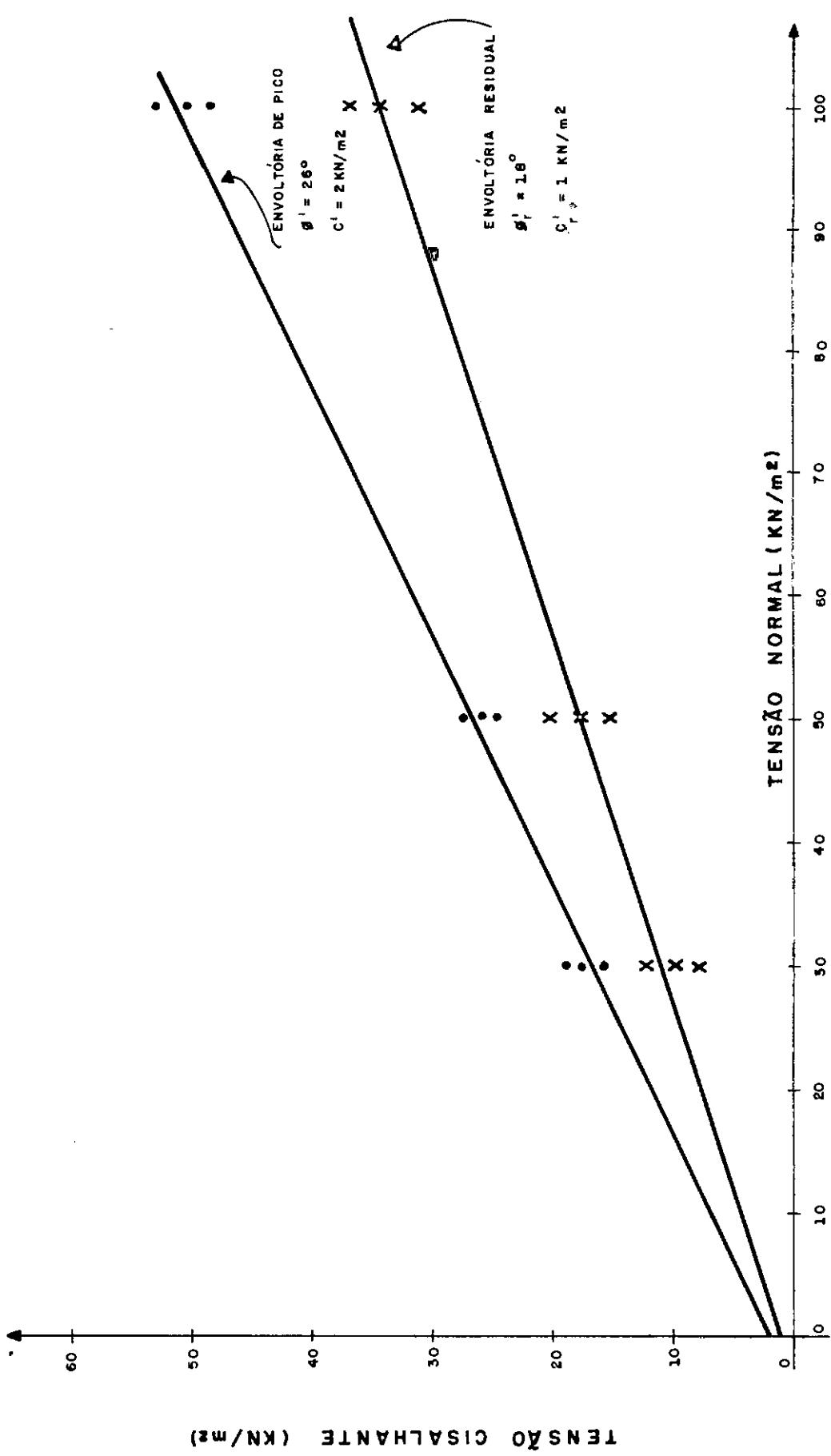


Fig. V.9 – Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, ao longo das superfícies de contato entre colúvios e massapés (Hor. IB).

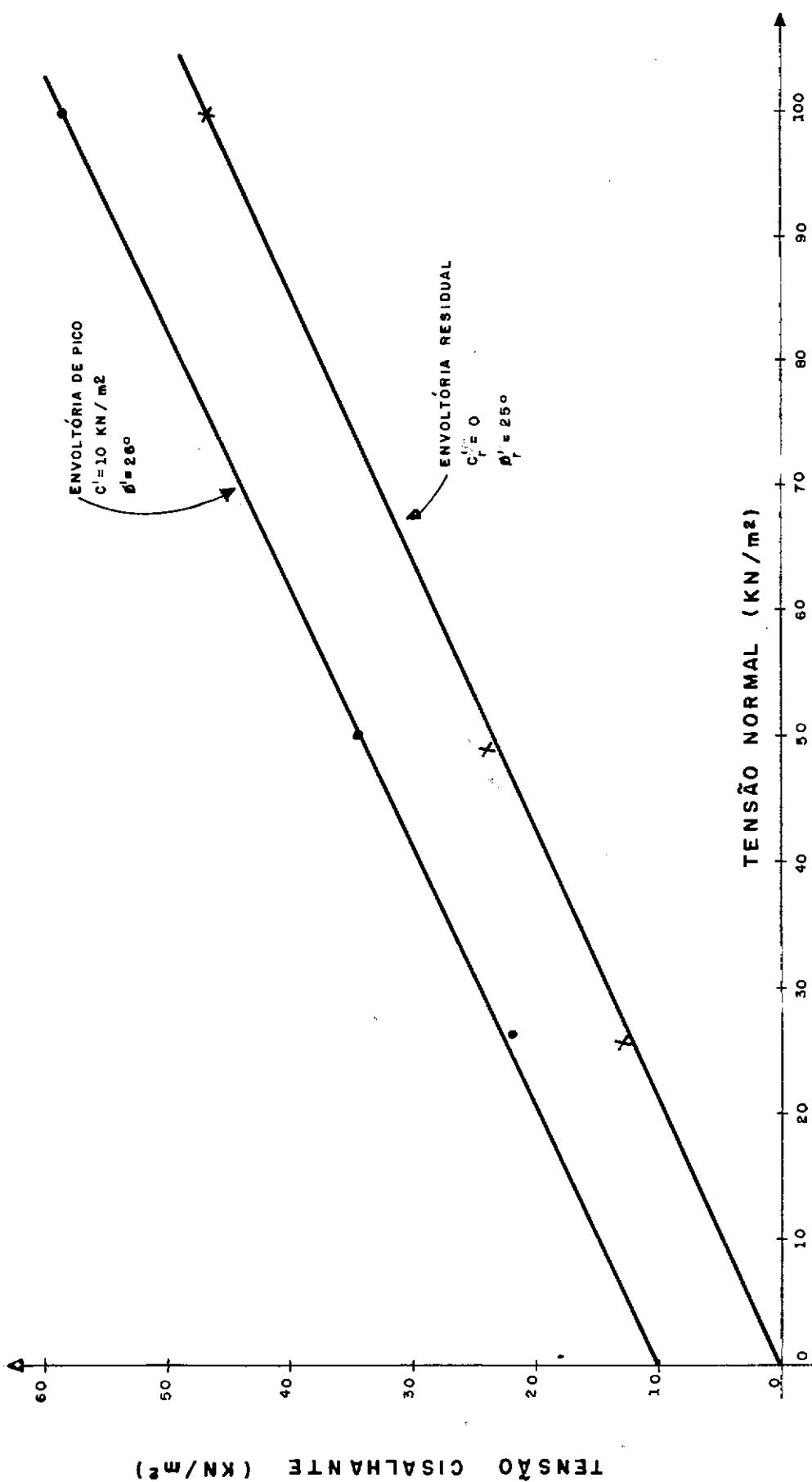


Fig. X.10—Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, ao longo da superfície de contato entre camadas de areias silto argilosas e massapés.

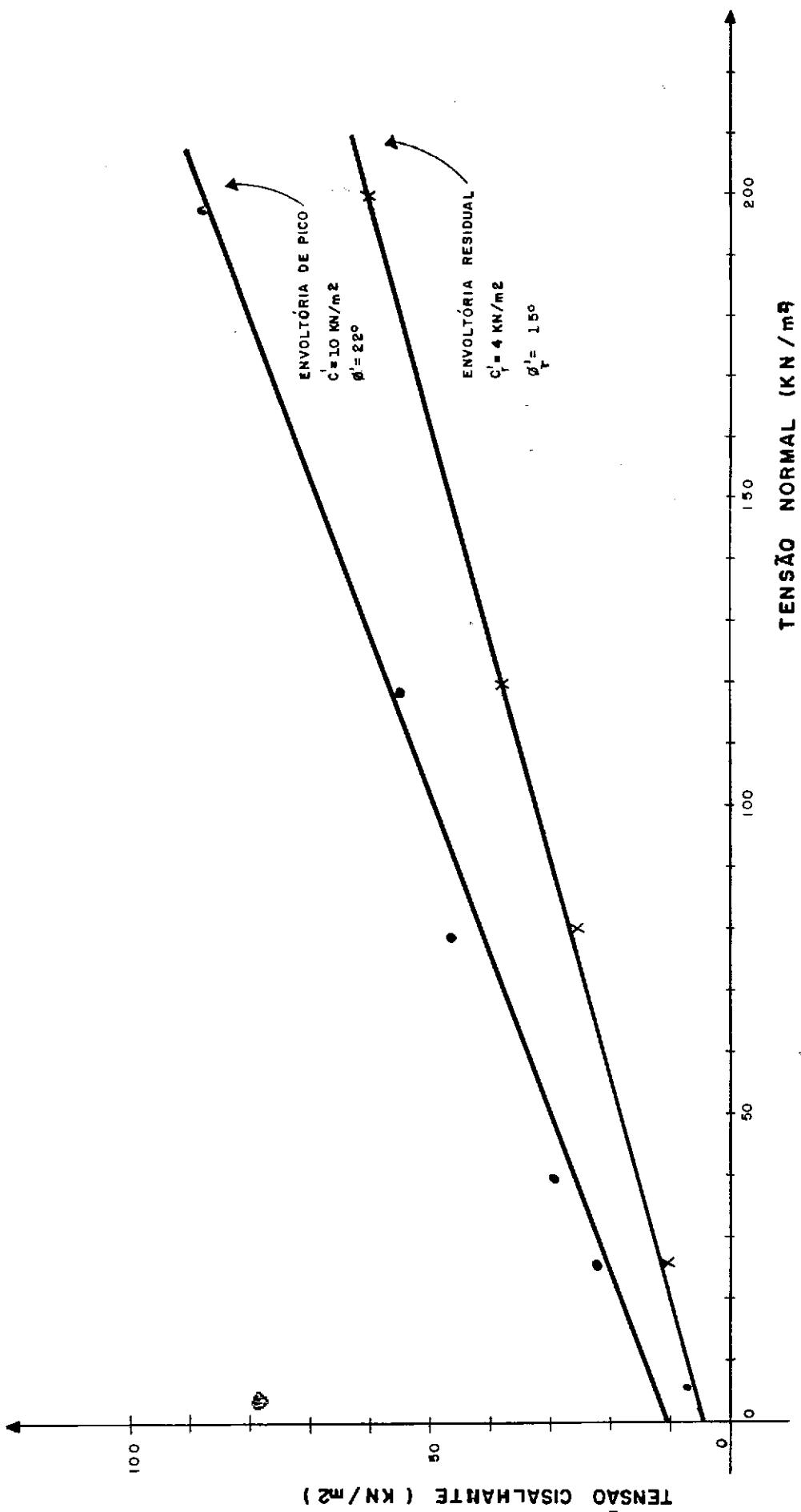


Fig. XI.11— Envoltórias de resistência de pico e residual obtidas de ensaios de cisalhamento direto, CD, reversível, ao longo de planos de fratura de folheios preenchidos com argilas plásticas.

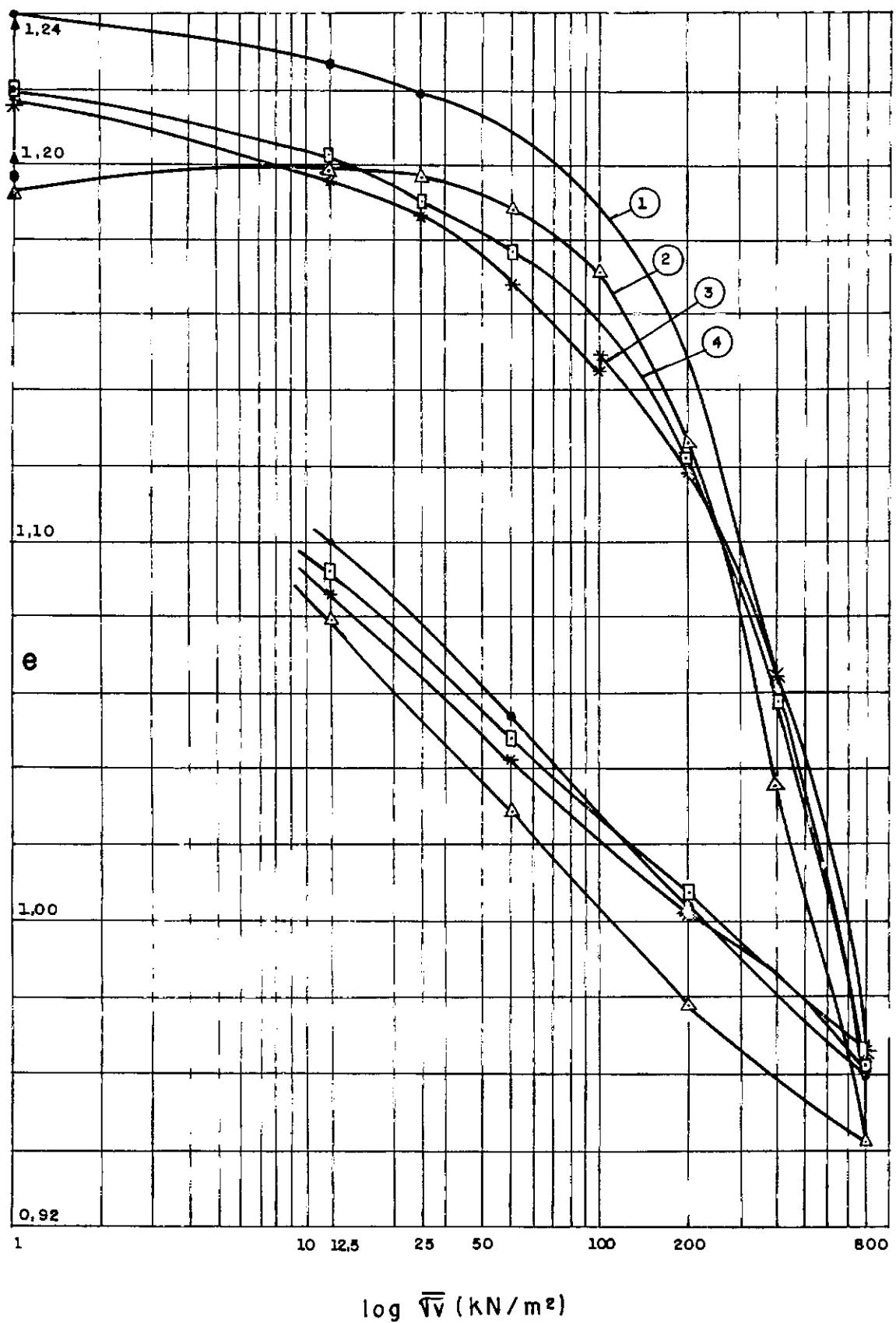


Fig.V.12-Ensaios de adensamento em massapês naturais das formações Marfim e Pojuca.

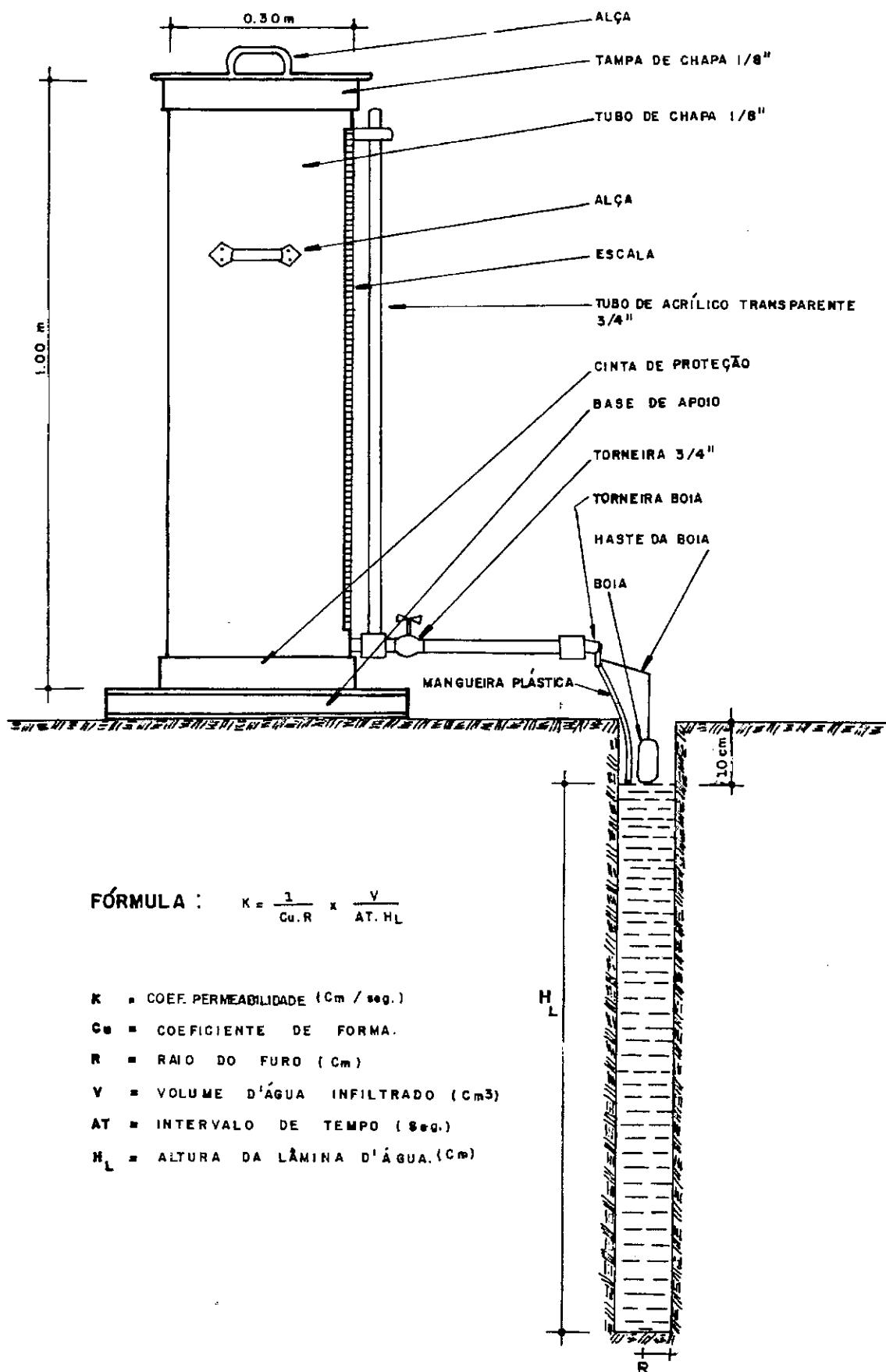


Fig. V.13 – Permeômetro usado nos ensaios de permeabilidade "IN SITU"

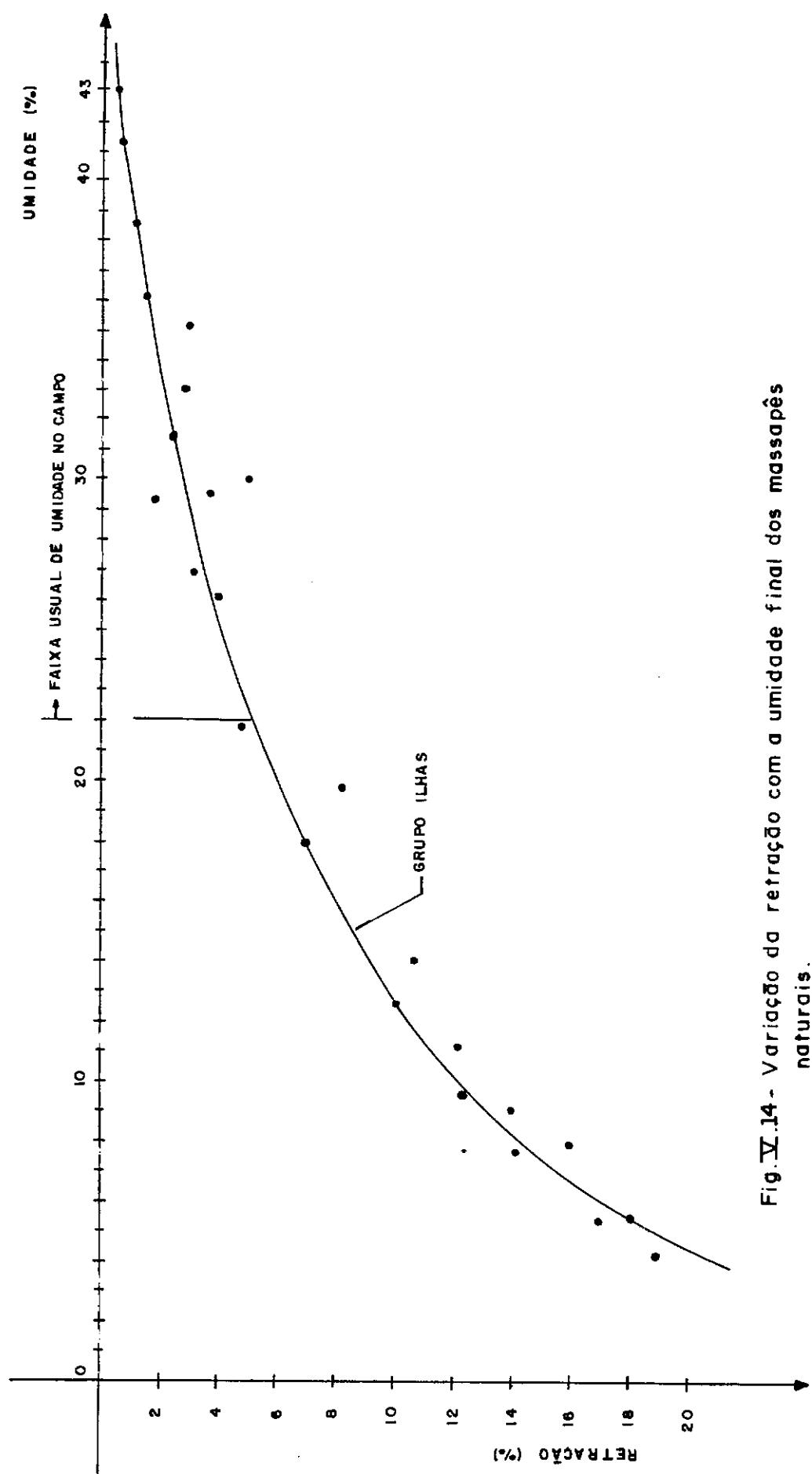


Fig. V.14 - Variação da retracção com a umidade final dos massapês naturais.

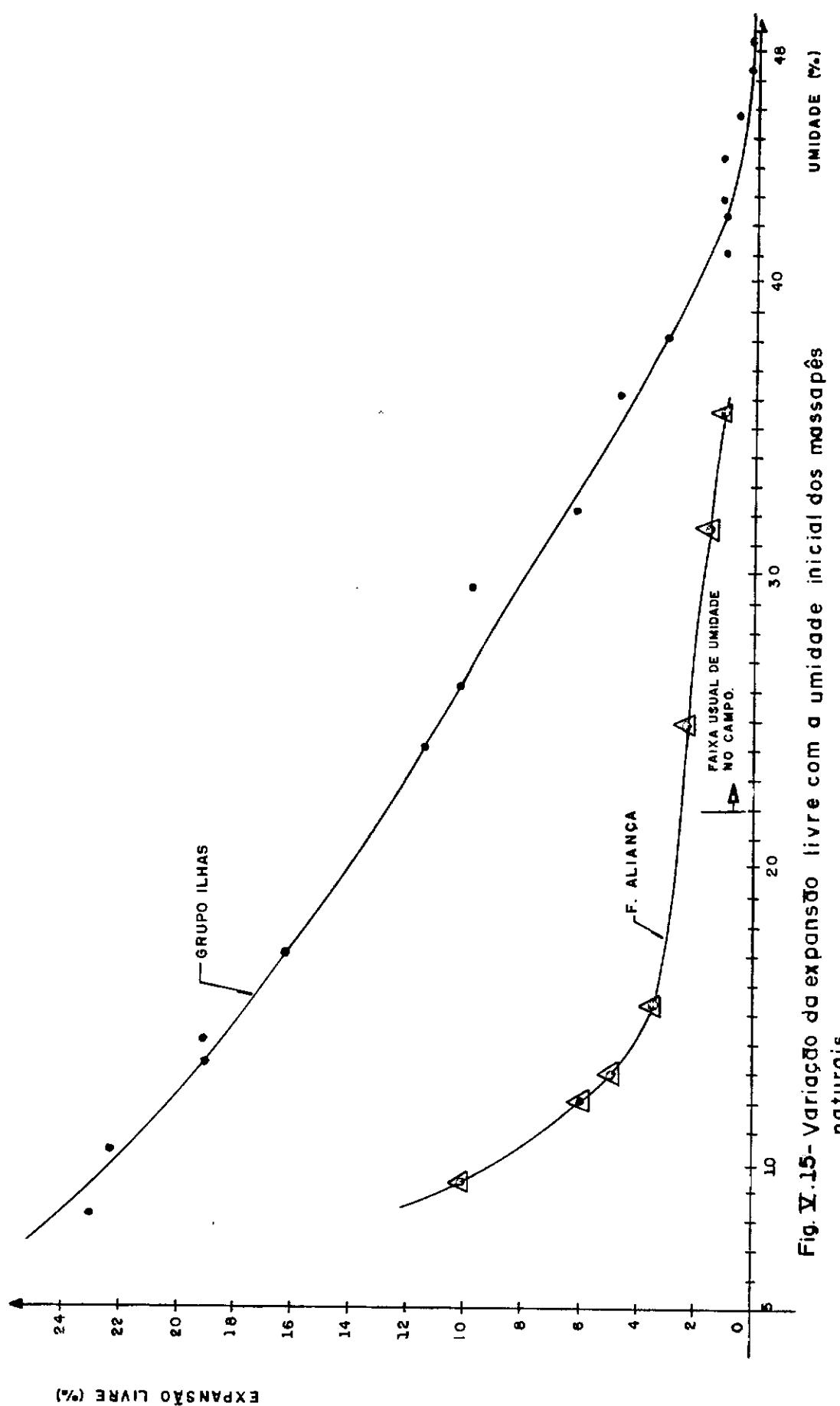


Fig. V.15 - Variação da expansão livre com a umidade inicial dos massapés naturais.

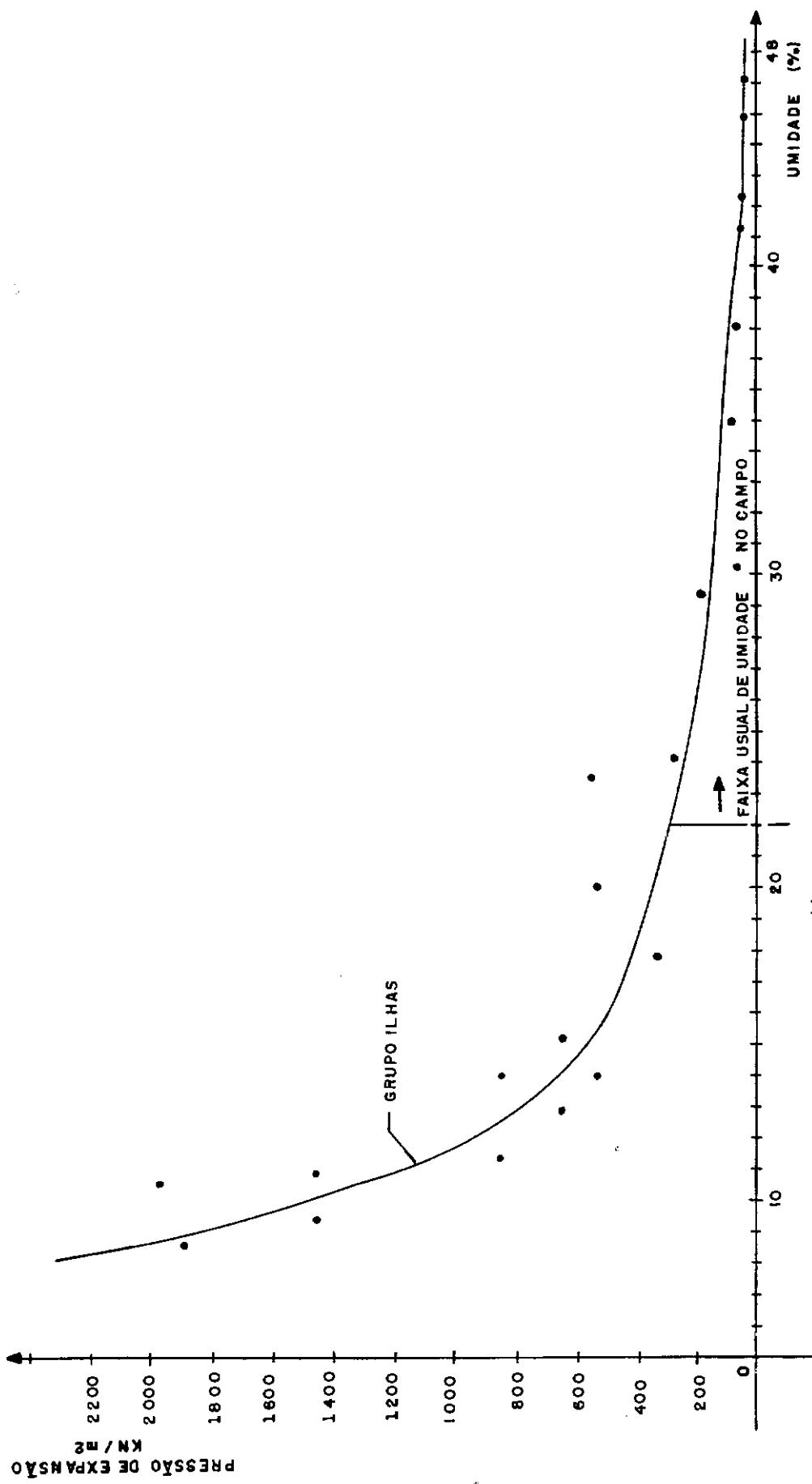


Fig. V.16 - Variação da pressão de expansão com a umidade inicial dos massapés naturais.

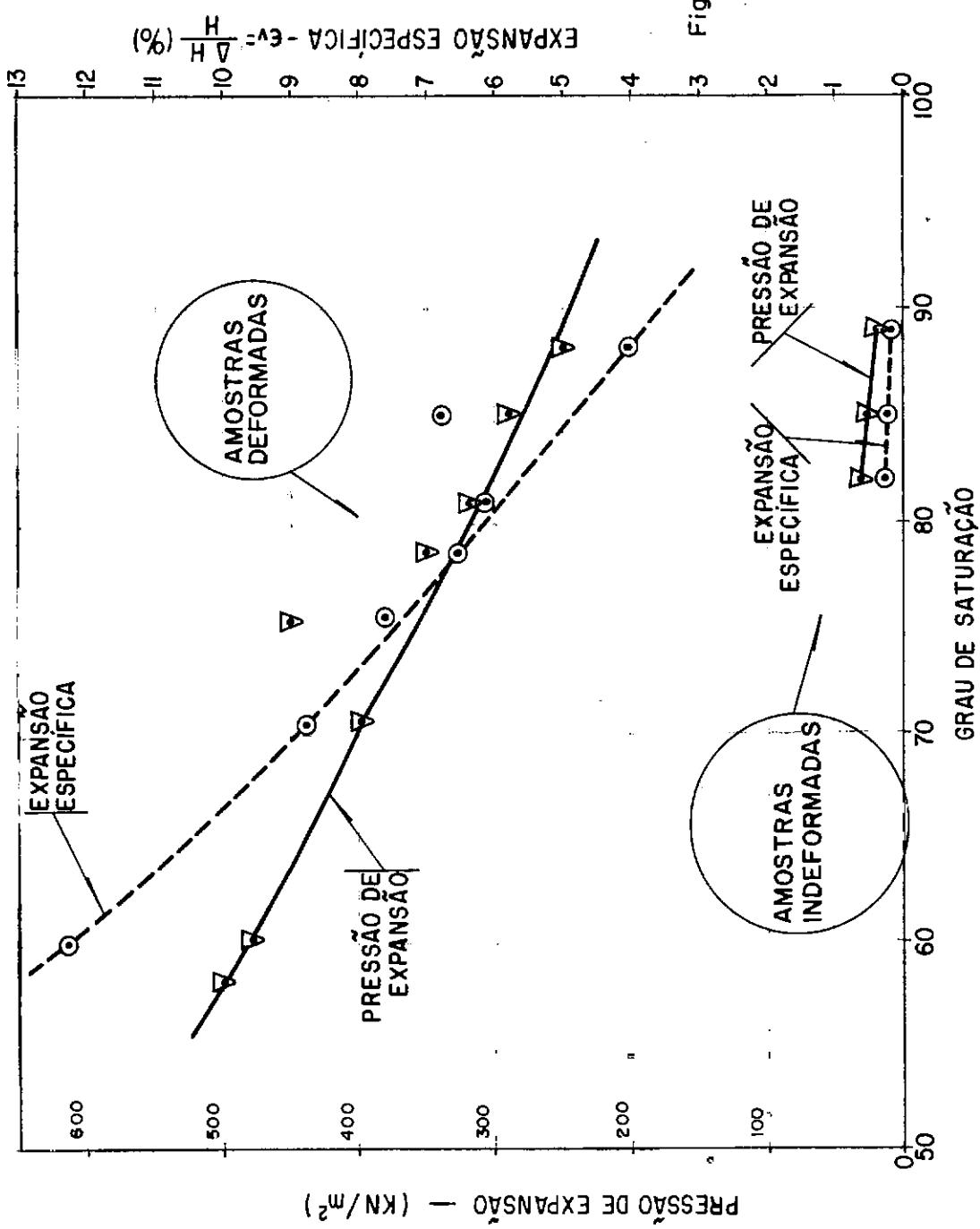


Fig. IV.17 – Variação da expansão e pressão de expansão dos folhelhos c/ o grau de saturação.

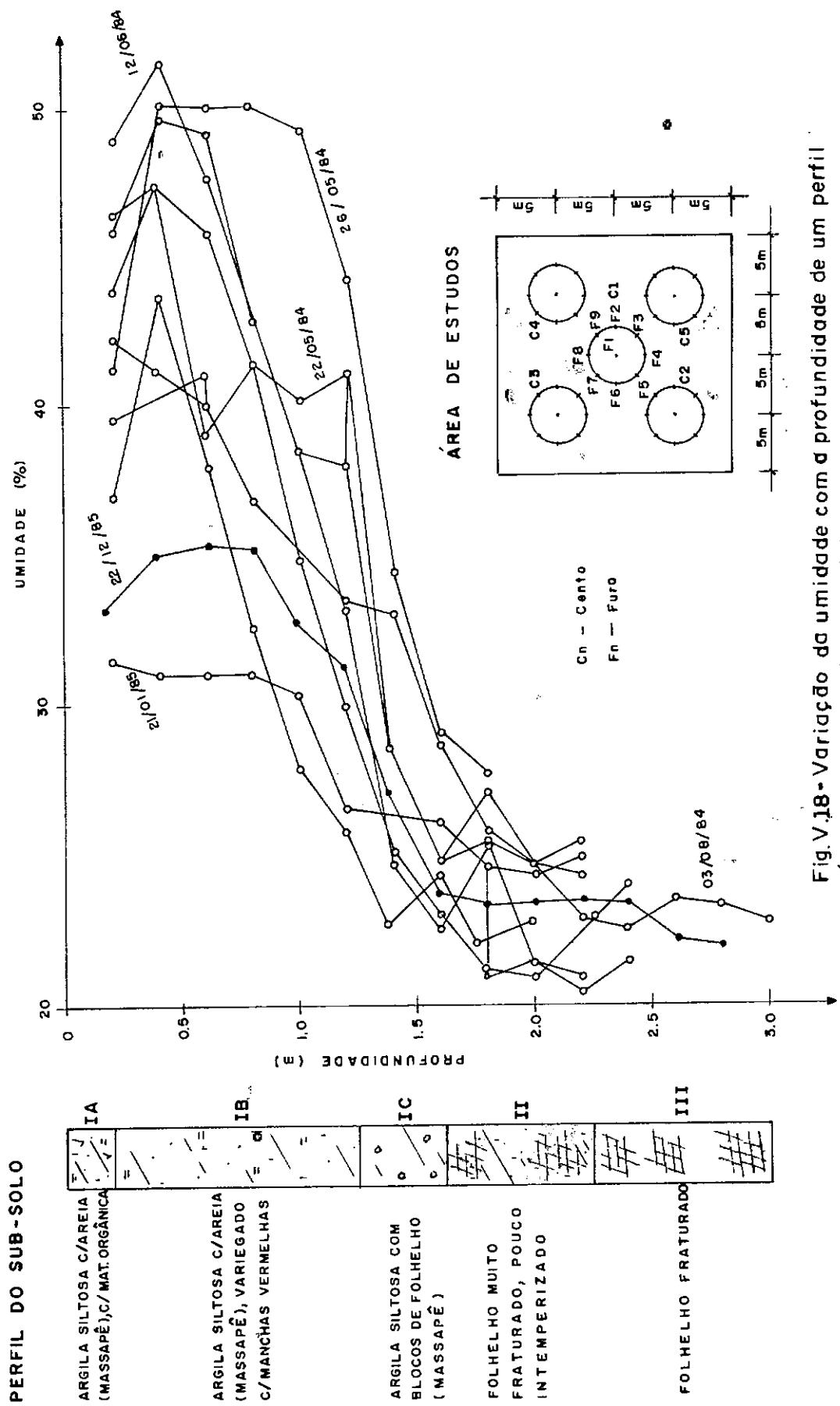


Fig. V.18 - Variação da umidade com a profundidade de um perfil típico de intertemperismo de folhelho.

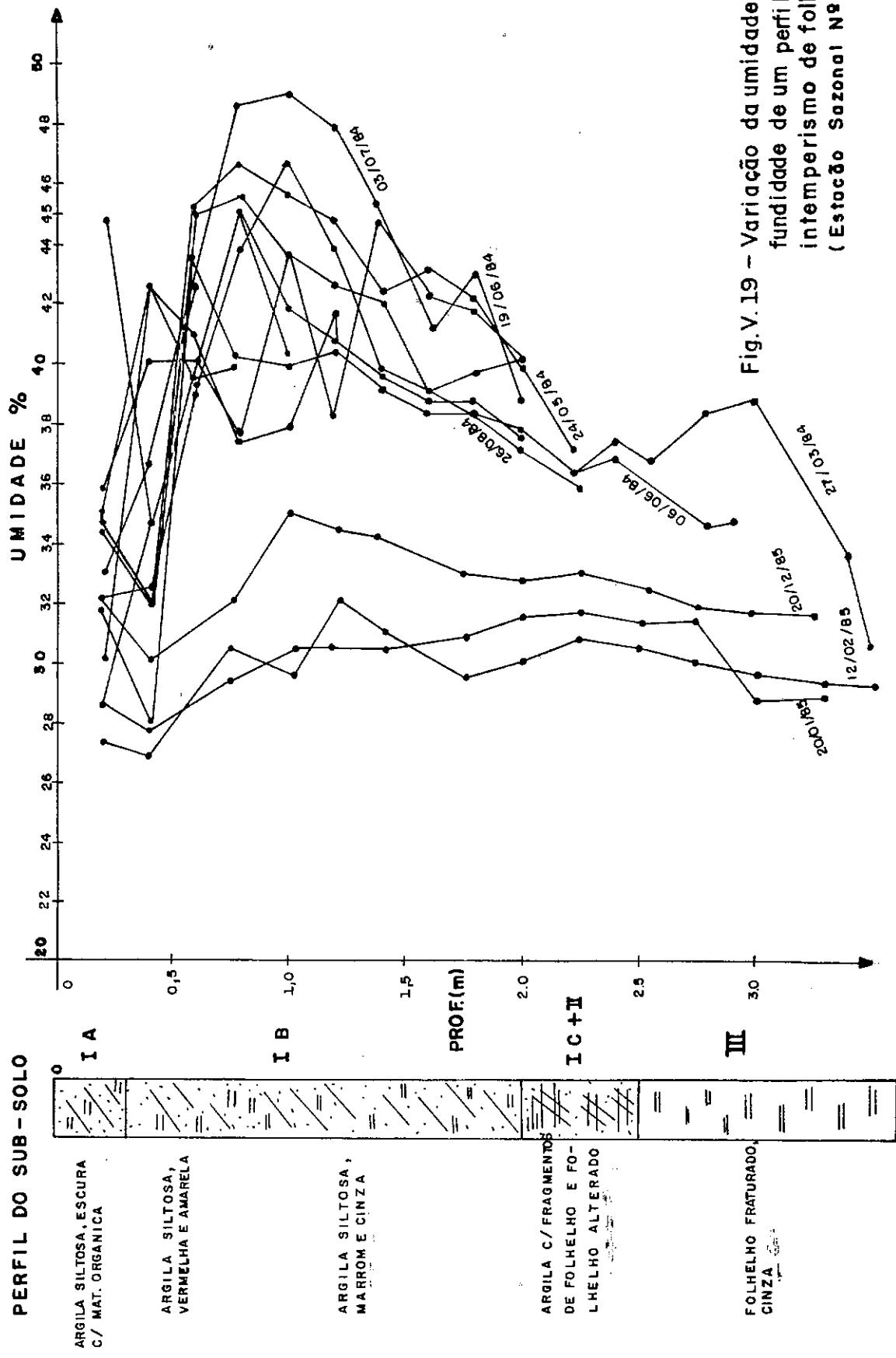


Fig.V.19 - Variação da umidade com a profundidade de um perfil típico de intemperismo de folhelho.  
( Estação Sazonal Nº 05 )

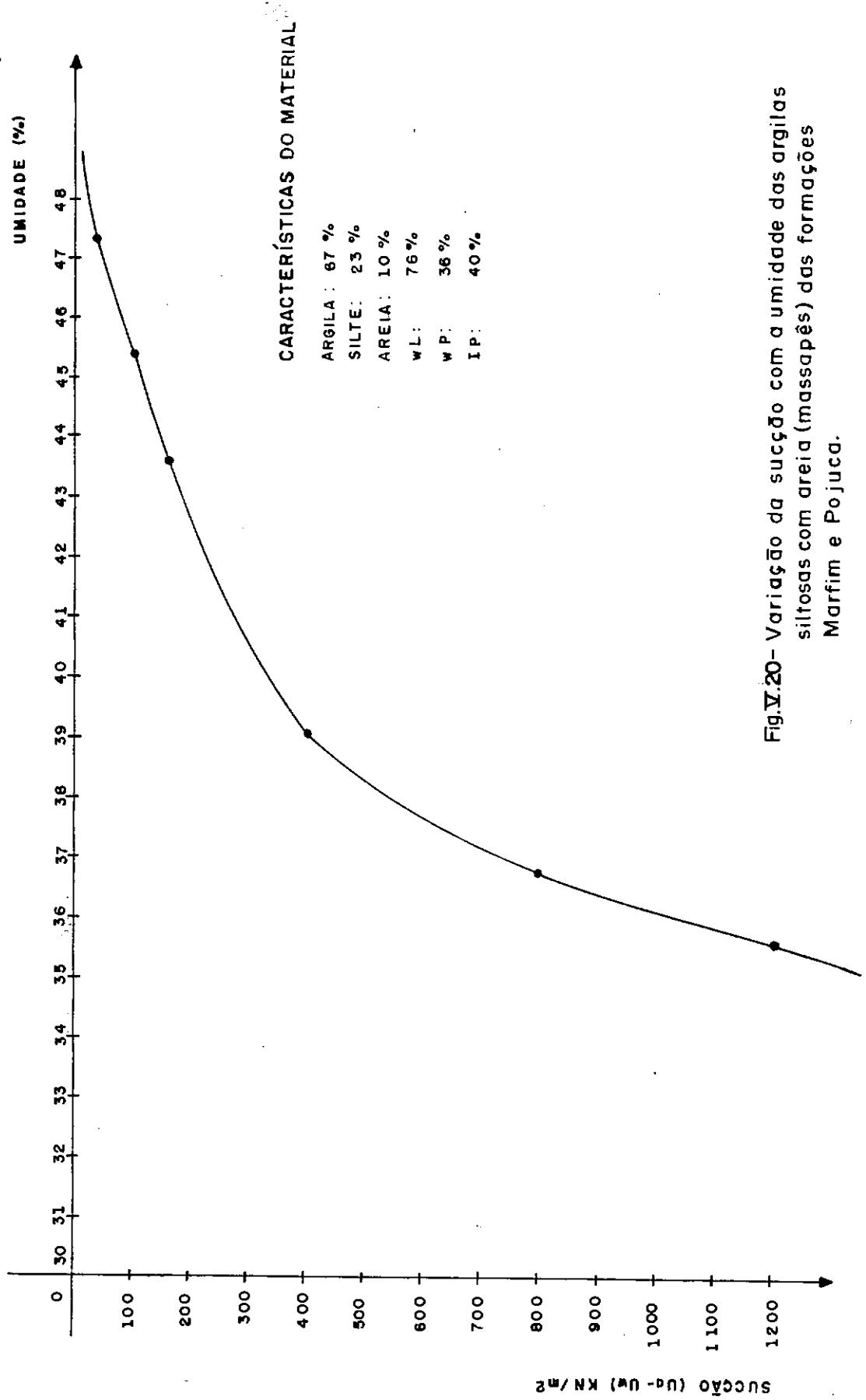


Fig.V.20- Variação da succção com a umidade das argilas siltosas com areia (massapés) das formações Marfim e Pojuca.

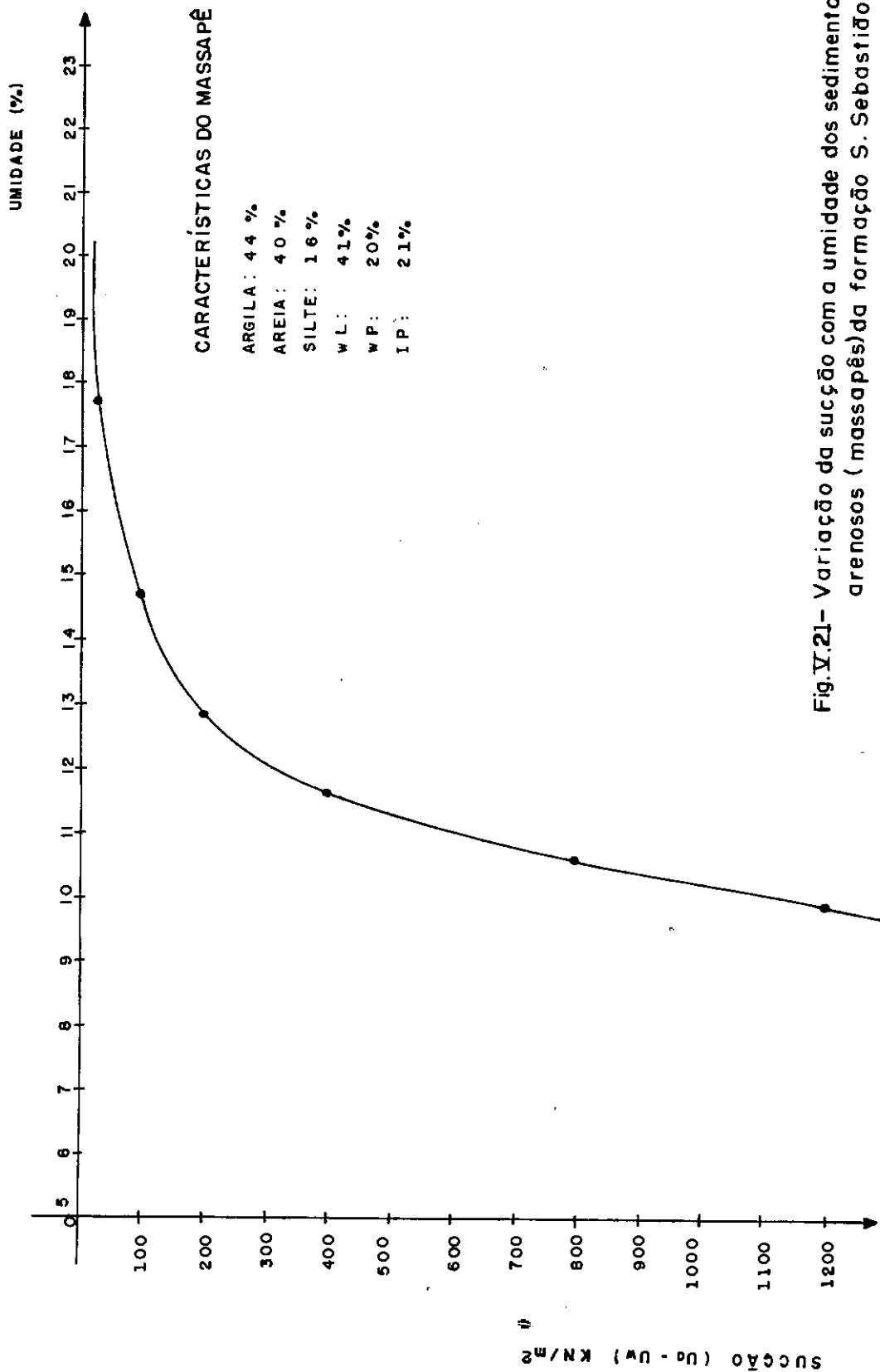


Fig. V.21 - Variação da succção com a umidade dos sedimentos argiloarenosos (massapés) da formação S. Sebastião.

## CAPÍTULO VI - MECANISMOS DE INSTABILIZAÇÃO DOS TALUDES

As encostas naturais e principalmente os taludes de corte são bastante susceptíveis a deslizamentos nos períodos de chuvas intensas, estando as rupturas quase sempre associadas às condições críticas das pressões de água que se desenvolvem dentro dos taludes. Nos períodos de estiagem o fator de segurança desses taludes é relativamente elevado, enquanto nos períodos chuvosos vai sofrendo decréscimo gradual até causar a ruptura.

Neste trabalho é proposto um sistema de classificação para os mecanismos de instabilidade dos taludes da Bacia Sedimentar do Recôncavo, tomando por base diversos casos estudados pelo autor.

O sistema de classificação é formado de dois Grupos, denominados Grupo S (Deslizamentos em Solos) e Grupo R (Deslizamentos em Rochas). No Grupo S foram definidos os Sub-Grupos  $S_1$  a  $S_6$  e no Grupo R os Sub-Grupos  $R_1$  a  $R_3$ .

O sistema baseou-se fundamentalmente nos tipos de perfis de intemperismo dos taludes comumente encontrados nas formações geológicas da Bacia e nos mecanismos de instabilização predominantes que neles se desenvolvem. Procurou-se estabelecer um sistema de classificação simples e objetivo, de forma à permitir sua fácil utilização por aqueles que no futuro se envolvam com este tipo de problema.

Na bibliografia nacional consultada sobre o assunto, merecem destaque os trabalhos apresentados por WOLLE (1980 e 1988), que tratam da instabilização de taludes naturais brasileiros, com ênfase para a Serra do Mar.

Nas retro-análises dos casos estudados, deu-se atenção especial aos seguintes aspectos: reconstituição da superfície original do terreno e da superfície de ruptura; incorporação no perfil das feições geológicas influentes na instabilização dos taludes; adoção das hipóteses de pressões de água mais prováveis de atuarem no momento da ruptura; utilização de propriedades representativas dos materiais envolvidos, principalmente com relação aos parâmetros de resistência ao longo da superfície de ruptura e utilização de métodos precisos e adequados para determinação dos fatores de segurança.

Os perfis dos taludes analisados foram levantados topograficamente, procurando-se reconstituir, dentro do possível, todos os aspectos geométricos, momentos antes da ruptura, que pudessem exercer influência nesse processo.

Os serviços topográficos consistiram em síntese no seguinte: levantamento das seções transversais principais dos taludes; traçado em planta da cunha de ruptura e locação das trincas, furos à trado, sondagens, poços e dos locais de extração de blocos indeformados. A definição da superfície de ruptura na seção crítica foi feita aproveitando-se o trecho exposto levantado pela topografia e complementado através da execução de furos à trado e

poços de inspeção.

Foram executados levantamentos geológicos e geotécnicos em todos os taludes analisados, registrando-se os principais aspectos influentes nos mecanismos de instabilização.

Amostras indeformadas foram extraídas e programados ensaios de laboratório, de forma que pudessem ser obtidos parâmetros de resistência representativos, em conformidade com os mecanismos de ruptura estabelecidos para cada caso.

Devido a importância e as dificuldades para se determinar as pressões de água que se desenvolvem dentro dos maciços, atenção especial foi dada instrumentando vários taludes com piezômetros tipo Casagrande e em alguns casos com piezômetros pneumáticos, tendo alguns taludes rompidos após certo período de leituras das variações piezométricas. Em outros casos foram instrumentadas, pelo autor, seções similares próximas a taludes deslizados, com o objetivo de avaliar ao longo do tempo a evolução das pressões de água nos períodos críticos que certamente provocaram as rupturas.

As inspeções de campo efetuadas logo após os deslizamentos de diversos taludes da Bacia forneceram subsídios de grande importância para estimativa do estado crítico de pressão neutra, norteando as suposições assumidas nos cálculos computacionais de estabilidade.

As análises foram feitas por tensões efetivas, utilizando-

se o método de SARMA (1979), através do programa para micro-computadores desenvolvido por HOEK (1987), como também os métodos de Morgenstern-Price e Janbú Simplificado, através do programa denominado "PC-Slope", elaborado por FREDLUND (1988).

No estudo dos casos históricos, serão descritas sumariamente as análises numéricas, verificando-se a sensibilidade do fator de segurança basicamente com as variações das pressões neutras dentro do maciço. Foram adotadas as hipóteses simplificadoras usualmente feitas nas análises de estabilidade, com relação principalmente à validade da envoltória linear de Mohr na determinação dos parâmetros de resistência, fator de segurança uniforme ao longo da superfície de ruptura e camadas constituídas de materiais homogêneos e isotrópicos.

Foram levantados e retro-analisados pelo autor, cerca de quarenta casos distribuídos ao longo da Bacia Sedimentar do Recôncavo. Dezenas de outros taludes rompidos, foram inspecionados em detalhes, constatando-se que os mecanismos de instabilização se enquadram perfeitamente em um dos casos já estudados e definidos no sistema de classificação.

Dentre os exemplos analisados, serão apresentados em maiores detalhes apenas os casos típicos de cada Sub-Grupo.

## VI.1 - GRUPO S - DESLIZAMENTOS EM SOLOS

VI.1.1 - Sub-Grupo S<sub>1</sub> - Deslizamentos em Camadas Pouco Espessas de Massapê Assentadas em Horizontes Mais Permeáveis

### VI.1.1.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

As rupturas dos taludes enquadrados neste Sub-Grupo, envolvem os solos massapês provenientes principalmente dos perfis típicos de intemperismo das rochas argilosas das formações que compõem os Grupos Santo Amaro e Ilhas, conforme perfil típico mostrado na Figura IV.1.

Na formação Aliança estes deslizamentos são menos preocupantes, devido ao fato dos horizontes em massapê terem espessuras bastante reduzidas.

Na formação S. Sebastião podem ocorrer camadas de massapê apoiadas ou intercaladas em sedimentos granulares mais permeáveis, no entanto, face ao mecanismo de instabilização, estes casos foram enquadrados no Sub-Grupo S<sub>6</sub>.

Os deslizamentos ocorrem geralmente nos períodos de precipitações pluviométricas intensas, tendo o histórico das chuvas que antecedem as rupturas influência muito grande na deflagração dos mecanismos de instabilização, devido ao aumento prévio da umidade desses solos, que possuem características essencialmente argilosas.

Esses taludes apresentam camadas de massapê normalmente

com espessuras inferiores à 5,0m. As rupturas são superficiais, envolvendo pequenos volumes, mantendo relação entre profundidade e comprimento da cunha entre 0,15 e 0,30. As superfícies de ruptura, têm forma aproximadamente circular, envolvendo normalmente os horizontes IA e IB, e em alguns casos os horizontes IC e II. A forma da cunha pode ser atribuída às condições razoáveis de homogeneidade desses materiais, enquanto os pequenos volumes deslizados estão relacionados ao perfil pouco desenvolvido dos massapês e a profundidade atingida pelas trincas.

Em alguns casos específicos tem-se registrado superfícies de ruptura não circulares, associando-se esta forma geralmente à heterogeneidade dos horizontes do perfil do sub-solo, devido à ação diferenciada do intemperismo ou à presença de feições geológicas marcantes.

A importância desses deslizamentos deve-se ao fato de ocorrerem de maneira generalizada e com frequência elevada, englobando no final um volume considerável.

Tem-se constatado também o desenvolvimento de rupturas múltiplas, à partir de um simples deslizamento, tendendo com o tempo a instabilizar maiores volumes.

A exposição ao sol das camadas superficiais de massapê, proporciona a formação de um sistema reticulado intenso de trincas de retração, as quais se propagam em profundidade assumindo diferentes formas. A permeabilidade dos massapês

"intactos", determinada em laboratório em amostras convencionais de pequenas dimensões, é muito baixa, na ordem de  $10^{-7}$  a  $10^{-9}$  cm/sec, evidenciando-se dessa forma, que as infiltrações nos taludes, se dão preferencialmente através das descontinuidades. As trincas de retração são as mais importantes neste fenômeno, normalmente atravessam os horizontes IA, IB e IC, intercomunicando-se com os horizontes II e III de permeabilidades relativamente superiores. Estes horizontes subjacentes se constituem em verdadeiros drenos para as camadas de massapê. A frente de saturação não avança de forma uniforme, devido a baixa permeabilidade dos massapês intactos. Não são geradas pressões hidrostáticas dentro das trincas, porque a água é rapidamente absorvida pelos massapês insaturados, proporcionando expansão e posterior fechamento dessas trincas.

As descontinuidades geológicas representadas principalmente pela presença do fissuramento e das trincas de retração nos massapês, conferem a estes horizontes superficiais, resistências de pico "in situ", inferiores às determinadas nos ensaios de laboratório em amostras de pequenas dimensões. A infiltração das águas provoca o umedecimento das zonas próximas às paredes das trincas, reduzindo consideravelmente a resistência ao cisalhamento dos solos por perda de succão. Na superfície crítica de ruptura a redução da resistência se processa em pontos localizados, gerando nova redistribuição de tensões nas zonas circunvizinhas e assim sucessivamente, culminando com a

ruptura global da cunha.

Investigações periódicas de campo foram realizadas através da abertura de poços e trincheiras nos massapês, determinando-se, numa mesma profundidade, as umidades em vários pontos do perfil do sub-solo. Constatou-se que as umidades nas zonas próximas às trincas de retração, sofriam grandes variações entre os períodos de chuva e de estiagem, enquanto nos locais mais afastados as variações eram menores, permanecendo os solos ainda insaturados.

O horizonte II de transição possui permeabilidade "in situ" na ordem de  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/seg, sendo constituído normalmente de folhelhos muito fraturados e pouco intemperizados. Dependendo das condições drenantes do horizonte III, pode-se encontrar níveis d'água suspensos dentro do horizonte II.

O horizonte III apresenta-se normalmente muito fraturado, com fissuras, diaclases e juntas, abertas e interligadas, proporcionando uma elevada condutividade hidráulica. As águas de infiltração que alcançam este horizonte nestas condições percolam com direção preferencial sub-vertical para o N.A. do sub-solo.

Os massapês de forma geral suportam a curto prazo, os cortes relativamente íngremes que são impostos pelo homem. O alívio das pressões provocado pelas escavações, geralmente libera tensões horizontais elevadas proporcionando abertura das trincas e aumento de volume do

material nas proximidades dos cortes, constatando-se o fenômeno do "embarrigamento" suave que se forma na face dos taludes. Outro aspecto bastante importante detectado em alguns casos, refere-se ao aparecimento de trincas no topo dos taludes, delimitando as cunhas potenciais de ruptura.

Tensões de succão geralmente são geradas dentro do maciço em decorrência desse aumento de volume, contribuindo para a sua estabilidade temporária, até que haja uma nova equalização das umidades, anulando a succão nas superfícies críticas ou ocorra infiltração de eventuais águas de chuva, capaz de acelerar as perdas de succão. As rupturas desses taludes devido a redistribuição de umidade, geralmente ocorrem alguns dias após a execução dos cortes, mesmo em épocas de estiagem. O tempo para equalização da umidade depende fundamentalmente da permeabilidade "in situ" do material. Nos casos em que a permeabilidade de campo é muito baixa, esse processo pode ser muito demorado, no entanto, na maioria dos taludes em massapês, aonde a permeabilidade é muito influenciada pela presença de veios de materiais drenantes (areias e siltos), de fissuras e de trincas de retração, o equilíbrio temporário é reduzido a alguns dias.

As encostas naturais são geralmente muito mais suaves do que os taludes de corte projetados com base nos ensaios de laboratório. Tem-se executado nos massapês taludes de corte com inclinações geralmente entre  $25^{\circ}$  e  $45^{\circ}$ , cujo

desempenho tem sido desastroso, enquanto as encostas naturais, conforme foi mostrado na Tabela III.2, tem inclinação entre 3° e 9°. A experiência tem demonstrado que geralmente taludes de corte em massapês, provenientes da intemperização das rochas argilosas dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, com inclinações na faixa de 10° a 14° e com altura de até 8,0m, tem permanecido estáveis.

Foram instalados cerca de oitenta e cinco piezômetros tipo Casagrande e dez pneumáticos, registrando-se durante três anos a variação do N.A. dos principais taludes em massapês, ao longo de um trecho com 40 km de extensão da Adutora Pedra do Cavalo. Constatou-se em linhas gerais que nas regiões de cotas mais elevadas, donde os problemas de instabilização enquadados neste Sub-Grupo eram mais preocupantes, o N.A. era profundo, ficando abaixo das cunhas de ruptura mesmo nos períodos de chuvas intensas e de longa duração.

Os piezômetros instalados especificamente nas camadas de massapê, incluindo os pneumáticos, mesmo levando-se em conta a permeabilidade muito baixa desses solos, apresentaram variações insignificantes de pressões neutras e tempo de retardo muito grande nos piezômetros Casagrande. No campo era observado, no entanto, que os deslizamentos, na maioria dos casos, ocorriam durante as próprias precipitações pluviométricas. Estas observações serviram para reforçar a hipótese de que os deslizamentos não eram devido a pressões neutras positivas geradas pela

elevação do N.A. estático do sub-solo.

#### • VI.1.1.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Na Figura VI.1 é mostrada uma seção representativa de um dos taludes, com espessura da camada de massapê em torno de 5,0 metros e com a inclinação (1V:1,5H) usualmente utilizada nas obras viárias da região.

As retro-analises efetuadas em vários taludes rompidos desse Sub-Grupo, considerando pressão neutra nula dentro do maciço, forneceram fatores de segurança maiores do que 1 quando foram utilizados parâmetros de pico e valores inferiores a 1, usando-se os parâmetros residuais.

A análise desses fatores de segurança contidos na Tabela V.1, mostra que os parâmetros de resistência mobilizados no campo, no momento da ruptura, são inferiores aos de pico obtidos em laboratório.

Esta hipótese é reforçada pelas observações à seguir, baseadas em observações realizadas "in situ".

- as descontinuidades geológicas (fissuras, trincas etc...) presentes nos massapês, não são convenientemente representadas nos ensaios de laboratório devido ao tamanho das amostras ensaiadas, devendo-se obter em laboratório resistências mais elevadas; a coesão é o parâmetro mais sensivelmente afetado no campo.

- durante as escavações, os taludes de corte normalmente íngremes que são impostos aos massapês, podem induzir

níveis elevados de tensões dentro do maciço e em consequência deformações ao longo de superfícies preferenciais de ruptura, definidas principalmente pelo micro-fissuramento intenso e pelas trincas.

- as movimentações ao longo desses planos são frequentemente caracterizadas "in situ" pela formação de trincas no topo dos taludes, delimitando as cunhas de ruptura e às vezes pelos próprios deslizamentos que ocorrem imediatamente após as escavações.

Torna-se também bastante evidente que tensões de succão são mobilizadas no momento da ruptura, devido ao fato dos massapés geralmente não atingirem saturação completa ao longo de toda superfície de deslizamento. Os ensaios de laboratório apresentados no ítem V.10, permitiram estimar as elevadas succões desenvolvidas nesses solos, mesmo para pequenas variações de umidade.

Nas retro-análises dos casos desse Sub-Grupo para a condição F.S. = 1, admitiu-se o seguinte.

- desenvolvimento de trincas no topo dos taludes, com profundidades de 1,0 m, sem gerar pressões hidrostáticas dentro delas.

- frente de saturação uniforme com espessura de 1,0 m, definida em função dos perfis de umidade estudados nas estações sazonais.

- nos casos estudados, caracterizados como primeiro

deslizamento, foram usados os parâmetros efetivos de pico com coesão nula, acrescidos de uma parcela de coesão devido a succção média ao longo da superfície de ruptura abaixo da zona de saturação (1a HIPÓTESE).

- nos casos aonde existiam planos de ruptura definidos, com evidências de movimentações, foram utilizados parâmetros efetivos residuais, acrescidos também de uma parcela de coesão devido a succção média ao longo da superfície de ruptura abaixo da zona de saturação (2a HIPÓTESE).

Determinou-se por tentativas a coesão total ( $c$ ), que conduziria o talude a uma condição F.S. = 1. A parcela de succção foi determinada pela seguinte equação proposta por FREDLUND et alii (1978).

$$c = c' + (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

A seguir é apresentado um resumo da sequência dos cálculos efetuados na retro-análise do caso típico mostrado na Fig. VI.1.

#### 1a HIPÓTESE

a) determinação do F.S. usando os parâmetros de pico  $c' = 6$  KN/m<sup>2</sup> e  $\theta' = 16^\circ$ ; obteve-se F.S. = 1.08.

b) determinação do F.S. do talude usando coesão  $c' = 0'$  e ângulo de atrito de pico  $\theta' = 16^\circ$ ; obteve-se F.S. = 0,60.

c) determinação da coesão total ( $c$ ) para F.S. = 1, adotando

ângulo de atrito de pico, coesão efetiva nula e frente de saturação com espessura de 1,0 m.

#### 1a tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \text{ e } \theta' = 16^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 10 \text{ KN/m}^2 \text{ e } \theta' = 16^\circ$$

. obtever-se F.S. = 1,39

#### 2a tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \text{ e } \theta' = 16^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 5 \text{ KN/m}^2 \text{ e } \theta' = 16^\circ$$

. obtever-se F.S. = 1,00

b) determinação da succção média pela equação de FREIDLUND,

$$c = c' + (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$5 = (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$(U_a - U_w) = \frac{5}{\operatorname{tg} \theta^b}$$

devido à dificuldade da realização no Brasil de ensaios de laboratório em solos insaturados para determinação de  $\theta^b$ , adotou-se este parâmetro variando entre  $12^\circ$  e  $16^\circ$ , com base na faixa de valores mais provável para materiais com estas características, conforme experiências feitas por ESCARIO (1980) em argilas da Espanha.

$\theta^b$	$(U_a - U_w)$	PF
	KN/m <sup>2</sup>	
12	23,5	2,37
13	21,7	2,34
14	20,1	2,30
15	18,7	2,27
16	17,4	2,24

## 2.3 HIPÓTESE

a) determinação do F.S. usando os parâmetros residuais dos massapês, com  $c'_{tr} = 0$  e  $\theta'_{tr} = 12^\circ$ ; obteve-se F.S. = 0,45

b) determinação da coesão total para F.S. = 1, adotando parâmetros residuais e hipótese da frente de saturação com espessura de 1,0 m

- ia tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \quad \epsilon \quad \theta'_{tr} = 12^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 20 \text{ KN/m}^2 \quad e \quad \theta'_{fr} = 12^\circ$$

. obteve-se F.S. = 2,03

- 2a tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \quad e \quad \theta'_{fr} = 12^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 8 \text{ KN/m}^2 \quad e \quad \theta'_{fr} = 12^\circ$$

. obteve-se F.S. = 1,0

c) determinação da succção média pela equação de FREIDLUND,

$$c = c' + (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$B = (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$(U_a - U_w) = \frac{B}{\operatorname{tg} \theta^b}$$

Dentro da faixa provável de variação de  $\theta^b$  ( $12$  a  $16^\circ$ ), foram determinados, da mesma forma, valores de succção entre  $37,6$  e  $27,9 \text{ KN/m}^2$ .

Constatou-se que o desenvolvimento de tensões de succção, variando de  $23,5$  a  $17,4 \text{ KN/m}^2$  (1a hipótese) e de  $37,6$  a  $27,9 \text{ KN/m}^2$  (2a hipótese), seriam suficientes para estabilizar o talude. A comparação desses valores com os estimados através dos ensaios mostrados na Figura V.20,

confirma que tensões médias de succão nessa ordem de grandeza, são bastante razoáveis de ocorrerem nos massapês dentro da faixa de variação da umidade no campo.

Na Tabela VI.1 foi mostrada também para outros taludes pertencentes ao Sub-Grupo S1, a coesão correspondente à parcela da succão para a condição F.S.=1, em atendimento às duas hipóteses formuladas neste trabalho.

#### VI.1.2 - Sub-Grupo S2 - Deslizamentos em Camadas Espessas de Massapê com N.A. Profundo

##### VI.1.2.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Os casos enquadrados nesse Sub-Grupo ocorrem basicamente na formação São Sebastião, principalmente na parte nordeste da Bacia Sedimentar, onde as condições de deposição favoreceram a formação de taludes homogêneos, espessos, constituídos de massapês de coloração predominante amarela a marrom avermelhada, com teor elevado de areia e silte. Em decorrência dessas características granulométricas, os taludes são mais altos e íngremes, com trincas de retração mais espaçadas, sendo comum no topo a presença de trincas de tração.

As redes de fluxo são fundamentalmente verticais, conduzindo as águas infiltradas até o N.A. estático do sub-solo, geralmente a maiores profundidades. Os piezômetros de Casagrande instalados em alguns taludes pertencentes a este Sub-Grupo, permaneceram sempre secos, mesmo em épocas de precipitações elevadas. O N.A. estático

do sub-solo é bastante profundo, não influenciando no processo de instabilização.

O mecanismo de ruptura é similar ao do Sub-Grupo S<sub>1</sub>, ou seja, a ruptura se dá por perda de succão parcial ou total dos massapês, em zonas específicas da superfície de ruptura, devido principalmente à infiltração das águas das precipitações pluviométricas através das trincas. A diferença básica, é que neste Sub-Grupo as rupturas ocorrem em camadas espessas de massapês, em taludes tipicamente encontrados na formação S. Sebastião.

Os deslizamentos ocorrem nos períodos de chuvas intensas, tendo as chuvas antecedentes também certa influência no mecanismo, devido ao elevado teor de material argiloso.

As rupturas são mais profundas, envolvendo na maioria das vezes, volumes consideráveis de material, sendo a superfície de ruptura geralmente condicionada no topo dos taludes pelo posicionamento das trincas de tração. Nas retro-análises foram consideradas trincas no topo, sem gerar pressões hidrostáticas, com profundidades de 1,5 m.

Apesar do trincamento, essas argilas siltosas possuem condições bastante razoáveis de homogeneidade e isotropia.

#### VI.1.2.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Na Figura VI.2 é mostrado um exemplo típico do Sub-Grupo S<sub>2</sub>. Em particular este talude é constituído de sedimentos argilo-arenosos (massapês) da formação S. Sebastião,

contendo um teor bastante elevado de areia.

A sequência dos procedimentos utilizada nesta retro-análise, é similar a adotada para o Sub-Grupo Si, conforme apresentada à seguir.

#### 1ª HIPÓTESE

a) determinação do F.S. usando os parâmetros de pico  $c' = 29 \text{ KN/m}^2$  e  $\theta' = 29^\circ$ ; obteve-se F.S. = 1,70,

b) determinação do F.S. usando coesão  $c' = 0$  e ângulo de atrito de pico  $\theta' = 29^\circ$ ; obteve-se F.S. = 0,90

c) determinação da coesão total ( $c$ ) para F.S. = 1, adotando ângulo de atrito efetivo de pico, coesão efetiva nula e frente de saturação com espessura de 1,5 m,

#### 1ª tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \text{ e } \theta' = 29^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 5 \text{ KN/m}^2 \text{ e } \theta' = 29^\circ$$

. obteve-se F.S = 1,03

#### 2ª tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \text{ e } \theta' = 29^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 4,5 \text{ KN/m}^2 \text{ e } \theta = 29^\circ$$

. obtém-se F.S. = 1,00

d) determinação da succção média pela equação de FREDLUND,

$$c = c' + (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$4,5 = (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$(U_a - U_w) = \frac{4,5}{\operatorname{tg} \theta^b}$$

. adotando  $\theta^b$  entre 12 a  $16^\circ$ , tem-se uma variação da succção de 21,2 a  $15,7 \text{ KN/m}^2$ .

## 28 HIPÓTESE

a) determinação do F.S. usando parâmetros residuais com

$$c'r = 0 \text{ e } \theta'r = 27^\circ, \text{ obtém-se F.S.} = 0,83$$

b) determinação da coesão total (c) para F.S. = 1, adotando parâmetros residuais e hipótese de frente de saturação com espessura de 1,5 m

- fa tentativa

. dentro da zona de saturação

$$c = 0 \quad \text{e} \quad \theta'r = 27^\circ$$

. abaixo da zona de saturação

$$c = 10 \text{ KN/m}^2 \quad \text{e} \quad \theta'r = 27^\circ$$

, obtever-se F.S. = 1,1

### -2a tentativa

dentro da zona de saturação

$$c = 0 \quad e \quad \theta'_{fr} = 27^\circ$$

abaixo da frente de saturação

$$c = 8 \text{ KN/m}^2 \quad e \quad \theta'_{fr} = 27^\circ$$

obteve-se F.S. = 1,0

c) determinação da succção média pela equação de FREIDLUND,

$$c = c' + (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$\theta = (U_a - U_w) \operatorname{tg} \theta^b$$

$$(U_a - U_w) = \frac{s}{\operatorname{tg} \theta^b}$$

adotando-se  $\theta^b$  entre  $12$  e  $16^\circ$ , obtever-se succção na faixa entre  $37,6$  e  $27,9 \text{ KN/m}^2$ .

De acordo com o mesmo raciocínio, constata-se que estes valores médios de succção podem ser facilmente mobilizados ao longo das superfícies de ruptura, conforme resultados apresentados na Figura V.21.

### VI.1.3 - Sub-Grupo S<sub>3</sub> - Deslizamentos em Camadas de Massapê com N.A. Pouco Profundo

#### VI.1.3.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Na Bacia Sedimentar, em alguns locais de topografia suave, ocorrem taludes de pequena altura com perfis pouco desenvolvidos, pertencentes principalmente aos Grupos Santo Amaro e Ilhas. Os massapês nesta região apresentam umidades elevadas, devido a proximidade do N.A e a elevada ascensão capilar desses materiais.

Durante os períodos chuvosos, ocorre a saturação do material, provocando o desencadeamento de processos generalizados de pequenas rupturas, englobando um volume final considerável. As superfície de ruptura tem forma circular devido as condições de homogeneidade e isotropia dos massapês.

Os registros dos piezômetros instalados em vários taludes comprovaram este mecanismo, com o desenvolvimento de pressões neutras positivas atuando sobre as cunhas devido a elevação do N.A.

Na formação São Sebastião são verificadas rupturas, normalmente de maiores proporções, enquadradas neste Sub-Grupo, devido também a elevação do N.A. do sub-solo. Os perfis nestes casos são constituídos de sedimentos argilosos (massapês), com permeabilidades "in situ" entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/seg. Os piezômetros instalados registraram elevações significativas do N.A. em função das precipitações pluviométricas.

#### VI.3.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Na Figura VI.3 é apresentado um exemplo representativo do

### Sub-Grupo S<sub>3</sub>

Foram determinados fatores de segurança para diferentes posições de elevação do N.A. dentro do talude, dada pela relação  $H_w/H$ , onde  $H_w$  representa a altura do nível d'água e  $H$  a altura do talude.

Na referida Figura são apresentadas curvas  $F_S \times H_w/H$ , obtidas utilizando-se respectivamente os seguintes parâmetros alternativos: pico ( $c' = 10 \text{ KN/m}^2$  e  $\theta' = 20^\circ$ ); pico com  $c'$  nulo ( $c' = 0$  e  $\theta' = 20^\circ$ ) e residuais ( $c'_{r'} = 0$  e  $\theta'_{r'} = 18^\circ$ ).

Da análise das curvas, conclui-se que também para os casos desse Sub-Grupo, as resistências mobilizadas na ruptura são inferiores aos valores de pico obtidos em laboratório.

As leituras que foram efetuadas dos níveis d'água do lençol freático, situaram-se na faixa definida pelos níveis críticos determinados através das curvas correspondentes respectivamente aos parâmetros de pico com  $c' = 0$  e aos parâmetros residuais.

#### VII.1.4 - Sub-Grupo S<sub>4</sub> - Deslizamentos de Camadas de Colúvio Assentadas em Horizontes Menos Permeáveis

##### VII.1.4.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Os deslizamentos de colúvios são observados com maior frequência nas encostas naturais das formações que compõem os Grupos Santo Amaro e Ilhas.

Os movimentos são predominantemente translacionais com uma pequena componente de rotação nos bordos da cunha. As rupturas se dão ao longo da superfície de contato entre os colúvios e os solos menos permeáveis subjacentes, normalmente massapés pertencentes aos horizontes IA e/ou IB.

Os mantos de colúvio se movimentam e mudam lentamente de configuração com o tempo, cujas velocidades são aceleradas nas épocas de chuva, devido principalmente aos seguintes motivos: ação dos ciclos de expansão e retração do material; deposição de novos sedimentos; elevações temporárias das pressões internas de água e aumento do peso das camadas devido à infiltração das águas. Ocorrem portanto movimentações lentas da massa e pequenas rupturas localizadas, às vezes sem comprometer a estabilidade global.

LACERDA e SANDRONI (1985) mostraram aspectos fundamentais referentes à formação e movimentação de mantos de colúvio em algumas encostas no sul do país, compatíveis com os fenômenos observados pelo autor na Bacia Sedimentar do Recôncavo.

A Natureza vai impondo um estado de equilíbrio a essas encostas para as condições usuais de precipitações. Somente nas épocas de precipitações excepcionais ocorrem as rupturas nos colúvios em condições mais precárias de estabilidade.

Uma situação mais desastrosa é observada quando são executados cortes à meia encosta, interceptando mantos de colúvio para implantação de obras, sem atentar para as condições críticas de estabilidade que foram criadas. São inúmeros esses casos na Bacia Sedimentar, em aterros viários e em estruturas de contenção. Mesmo pequenos cortes são suficientes para gerar situações críticas de estabilidade, sob condições pluviométricas anteriormente suportáveis.

Em taludes muito íngremes, mesmo sem a presença de colúvios, tem-se observado movimentações lentas, em forma de rastejo, das camadas superficiais com umidades elevadas, constituintes dos horizontes IA e IB.

BISHOP (1966), verificou à partir de ensaios drenados de laboratório e de observações de campo, que em encostas naturais, movimentações tipo "creep" são registradas ao longo do tempo mesmo quando o maciço está submetido à tensões que representam uma fração da resistência de pico.

As movimentações lentas dos mantos de colúvio podem ser observadas nos danos causados em vários locais da Bacia, pelo seccionamento de muros de gravidade construídos para contenção de taludes com estas características, tendo o autor registrado deslocamentos médios de 20 mm/ano.

Outros exemplos dessa movimentação, são registrados através dos levantamentos, ondulações e trincas nos trechos de rodovias implantados em meia encosta com

presença de colúvios, podendo-se citar dentre elas as estradas que ligam a BR-324 à Santo Amaro, S. Francisco do Conde à Santo Amaro e Mataripe à S. Francisco do Conde.

As rupturas localizadas nos colúvios são atribuídas à redução da succão do material, devido à infiltração de água. Eventualmente podem também ser geradas pressões hidrostáticas temporárias dentro das fendas dos colúvios, contribuindo para a ocorrência dos micro-deslizamentos.

Os locais de ocorrência dos micro-deslizamentos são facilmente identificados na camada superficial, pela presença das fendas e ressaltos (degraus).

As camadas de colúvio apresentam-se geralmente em estado solto, com vazios devido à má distribuição dos fragmentos de folhelho, com fendas devido aos micro-deslizamentos e com trincas de retração. Estas características lhe conferem permeabilidade elevada, quando comparada com a dos massapês ou com a dos folhelhos subjacentes.

As águas provenientes das precipitações pluviométricas infiltram através dos colúvios, percolando em seguida com direção paralela à superfície de contato com o material subjacente menos permeável, formando temporariamente lençóis d'água suspensos.

A rede de fluxo que é formada nestas circunstâncias, gera forças de percolação elevadas, função da inclinação da superfície de contato e do aumento gradativo da espessura da rede, até romper o talude.

As rupturas observadas foram planares, com predominância total do comprimento em relação à espessura. As cunhas de ruptura tinham forma de "língua", envolvendo comprimentos que variaram de 16,0 a 55,0 m e larguras médias entre 10,0 e 20,0 m. A superfície de ruptura geralmente era contornada na parte superior por uma grande fenda, observando-se também após a ruptura a presença de várias trincas na massa deslizada.

Pocos de inspeção nos colúvios, foram executados em alguns casos, tendo-se constatado grande concentração de umidade e de água livre nas zonas próximas às superfícies de contato com os massapés subjacentes, assim como planos de ruptura espelhados, bem definidos, com evidências das movimentações que se processaram ao longo do tempo. Um aspecto interessante era a baixa resistência ao longo das superfícies de contato, onde tinha-se bastante dificuldade até para retirada dos blocos indeformados (30 x 30 x 30 cm) que atravessavam esta zona, pela tendência de seccionamento dos mesmos.

Constatou-se através dos casos analisados desse Sub-Grupo, que as massas deslizadas se encontravam em condições críticas de equilíbrio, condicionadas por resistências muito baixas ao longo dessas superfícies de contato.

#### VI.1.4.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Seções transversais típicas com os perfis geológicos dessas encostas naturais são mostradas nas Figuras VI.4 e

VI.5, enquanto na Tabela VI.2 são apresentados dados característicos de alguns dos taludes retro-analisados.

Foram utilizados parâmetros de pico e residuais, obtidos em ensaios de cisalhamento direto, reversível, CD, fazendo-se coincidir no laboratório o plano de ruptura com o plano de contato entre os colúvios e os massapês.

As encostas analisadas possuíam alturas inferiores a 22,0m e inclinações médias na faixa entre  $11^{\circ}$  e  $18^{\circ}$ . As superfícies de contato entre os colúvios e os massapês, em linhas gerais, eram pouco mais íngremes do que as superfícies dos taludes. A espessura dos colúvios variou entre 1,5 e 3,0 m, atingindo na base das encostas valores maiores, sendo difícil em alguns casos a sua delimitação com os massapês subjacentes, devido à intemperização que normalmente sofrem "in situ".

Para observar o desenvolvimento das pressões de água no interior desses maciços, uma seção bastante similar e próxima à encosta da Figura VI.4, foi instrumentada com nove piezômetros tipo Casagrande, onde foram medidos ao longo do tempo as alturas de água dentro do talude, que variavam em função das precipitações pluviométricas. Em três níveis da encosta, foram instalados em cada um desses locais, três piezômetros posicionados respectivamente na camada de colúvio, na camada de massapê (hor.IB) imediatamente subjacente ao colúvio e no horizonte III mais profundo, tentando interceptar o N.A. estático do sub-solo. Os registros revelaram que nos períodos de

estiagem os piezômetros instalados no colúvio e na camada imediatamente subjacente, no topo e na posição intermediária das encostas, permaneciam sempre secos e os piezômetros instalados no horizonte III apresentavam leituras de N.A. relativamente profundas. Nos piezômetros instalados no pé da encosta, devido a proximidade do N.A., sempre registravam-se leituras. Nos períodos chuvosos, verificava-se uma elevação rápida e substancial das leituras dos piezômetros instalados no colúvio. Na camada subjacente as leituras eram muito pequenas, enquanto nos piezômetros mais profundos instalados no horizonte III, a elevação do N.A. era muito lenta, sem atingir as cunhas de ruptura.

Medidores de N.A. instalados nas bases de outros taludes desse Sub-Grupo, demonstraram que o N.A. estático do subsolo, mesmo nos períodos de elevadas precipitações, mantinha-se abaixo do plano de ruptura, não interferindo no processo de instabilização.

Nas Figuras VI.4 e VI.5 são mostradas as curvas referentes à variação do fator de segurança dos taludes com a elevação da linha piezométrica ( $h_w$ ), devido a formação temporária do lençol d'água suspenso no interior da camada de colúvio.

As análises de estabilidade foram feitas usando-se os parâmetros de pico e residuais, podendo-se verificar que para a condição  $F.S.=1$ , os parâmetros mobilizados no campo são próximos aos residuais, confirmando as observações

"in situ" citadas neste trabalho.

#### VII.1.5 - Sub-Grupo S<sub>5</sub> - Deslizamentos de Camadas de Solo Granular Assentadas em Horizontes Menos Permeáveis

##### VII.1.5.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Na Bacia Sedimentar é comum a ocorrência de camadas de solo granular, constituídas de areias siltosas ou siltes arenosos, simplesmente assentadas sobre materiais argilosos de baixa permeabilidade.

Os casos mais frequentes e importantes são encontrados na formação São Sebastião, devido a presença abundante dos sedimentos granulares, embora também ocorram com menor incidência nas demais formações expansivas da Bacia. Os deslizamentos pertencentes a este Sub-Grupo, geralmente envolvem grandes volumes de materiais deslizados.

Os perfis mais complexos onde ocorrem intercalações múltiplas de camadas argilosas no maciço, constituído de solos granulares, foram enquadrados no Sub-Grupo S<sub>6</sub>.

As águas provenientes das precipitações pluviométricas infiltram com facilidade por toda superfície exposta dos materiais granulares, criando uma rede de percolação interna paralela à superfície de contato com os horizontes menos permeáveis subjacentes. Temporariamente são formados lençóis d'água suspensos dentro da camada granular. A diferença marcante de permeabilidade entre esses materiais condiciona o mecanismo de instabilização.

A inclinação da superfície de contato e a elevação da espessura da rede de fluxo, influenciam respectivamente na definição da cunha de ruptura e na grandeza das forças de percolação que se desenvolvem no interior do maciço.

A eficiência da drenagem natural das águas de infiltração na face do talude, é fundamental para o rebaixamento da rede de percolação.

Em alguns taludes foram instalados medidores de N.A. na camada de material granular, em pontos imediatamente acima da superfície de contato com o material menos permeável. Nos períodos de estiagem os medidores permaneceram sempre secos, porém durante as precipitações pluviométricas intensas e de longa duração, o nível d'água se elevava gradativamente devido à formação do lençol d'água na camada granular. As inspeções das faces desses taludes, mostravam claramente nessas épocas, as surgências de água nas zonas próximas aos contatos. Durante os levantamentos geológicos realizados imediatamente após alguns deslizamentos desse Sub-Grupo, foi possível medir na face exposta de cada cunha de ruptura a posição aproximada da mancha d'água referente à altura que o lençol d'água suspenso tinha alcançado dentro das camadas granulares, possibilitando fazer comparações com as alturas críticas determinadas nas retro-analises.

O N.A. estático do sub-solo nos casos analisados, estava sempre situado muito abaixo das cunhas de deslizamento, não gerando pressões de água que

interferissem na estabilidade dos taludes.

As inspeções "in situ" revelaram que as zonas próximas aos contatos apresentavam-se em muitos casos com presença abundante de água e com evidências de deslocamentos devido ao aspecto das superfícies de ruptura, geralmente lisas e polidas.

Os taludes de corte muito íngremes que são impostos à estes materiais, geralmente tem provocado durante as escavações o aparecimento de trincas de tração no topo dos taludes, devido às movimentações que certamente ocorrem no interior dos maciços, ao longo das superfícies de contato entre os solos granulares e os massapês subjacentes.

As superfícies de ruptura normalmente são delimitadas no trecho inicial pelas trincas de tração, atravessando a camada de solo granular até a superfície de contato com o massapê, coincidindo daí em diante com esta superfície, definindo assim em sua maior extensão o trecho principal da cunha, até atravessar em alguns casos, na base, novamente os materiais granulares, segundo trechos retilinizados.

As camadas granulares, constituídas predominantemente de areias siltosas e siltes arenosos, são muito susceptíveis a erosão superficial. Os fluxos concentrados das águas superficiais tem provocado o carreamento e arraste das partículas, criando sulcos profundos que contribuem no

processo de instabilização.

#### VI.1.5.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Nas Figuras VI.6, VI.7 e VI.8 são mostrados perfis típicos de taludes enquadrados no Sub-Grupo Sg, enquanto na Tabela VI.3 estão os dados característicos de algumas retro-análises.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, reversível, tipo CD, usados nas análises foram obtidos coincidindo em laboratório os planos de ruptura com as superfícies de contato entre os materiais granulares e os massapés.

Os taludes analisados possuíam alturas inferiores a 22,0 m e inclinações na faixa entre  $14^{\circ}$  e  $40^{\circ}$ , sendo a maioria das inclinações superiores a  $30^{\circ}$ , enquanto as superfícies de contato entre os materiais granulares e argilosos geralmente apresentavam-se com inclinações entre  $8^{\circ}$  e  $28^{\circ}$ .

Ao lado dos perfis dos taludes são apresentadas as curvas de variação do F.S. com a elevação da linha piezométrica ( $h_w$ ). Nos períodos secos ( $h_w = 0$ ) os taludes apresentam fatores de segurança elevados. Com as infiltrações de água a rede de percolação vai aumentando até atingir uma altura crítica ( $h_w$  crit.) correspondente a  $F.S. = 1$ , capaz de provocar a ruptura dos taludes.

A análise dessas curvas mostra que em algumas situações onde foram caracterizadas movimentações significativas

dentro do maciço, com formação de trincas e deslocamentos ao longo das superfícies de contato, à exemplo dos taludes mostrados nas Figuras VI.6 e VI.7, os parâmetros mobilizados na ruptura são próximos aos residuais. As alturas piezométricas críticas obtidas dessas curvas, foram bastante compatíveis com as que puderam ser medidas diretamente no campo. A comparação entre os parâmetros residuais medidos em laboratório com os obtidos das retro-análises, assumindo as alturas piezométricas medidas "in situ", apresentou pequenas discrepâncias dos ângulos de atrito, na faixa de 1 a 3°.

A Tabela VI.3 contém os dados das retro-análises de alguns taludes similares, determinando-se as alturas piezométricas críticas correspondentes aos parâmetros residuais.

Por outro lado, também podem ocorrer situações como a tipicamente representada na Figura VI.8, referentes a um primeiro deslizamento, devendo na ruptura ser mobilizados parâmetros próximos ao de pico, tendo-se constatado a elevação substancial da linha piezométrica na camada granular. Este talude em particular resistiu a vários períodos chuvosos adversos, somente rompendo em maio de 1989 durante as precipitações intensas e de longa duração, que elevaram o nível d'água até as proximidades da superfície do talude.

A execução de cortes viários, principalmente na formação São Sebastião, muitas vezes reserva surpresas

desagradáveis durante os períodos chuvosos. Como há predominância dos materiais granulares de boas características e os estudos geotécnicos geralmente são limitados devido à linearidade desse tipo de obra, existe grande tendência em se projetar taludes muito íngremes. Ocorrem no entanto, com frequência dentro do maciço, intercalações de camadas argilosas menos permeáveis, às vezes não detectadas durante as investigações geotécnicas, que proporcionam situações altamente desfavoráveis, provocando o desencadeamento de deslizamentos generalizados nas primeiras precipitações intensas que sucedem estas obras.

Durante a construção da Rodovia Canal de Tráfego, os taludes de cortes implantados na formação São Sebastião, não resistiram às chuvas intensas que ocorreram em abril e maio de 1975. Verificaram-se deslizamentos generalizados em toda extensão da rodovia, alguns envolvendo volumes muito grandes, destruindo praticamente todos os serviços de terraplenagem, naquela altura já praticamente concluídos. Este episódio gerou prejuízos financeiros e atrasos enormes nos prazos para a conclusão da obra, obrigando a uma paralisação de quase um ano para que o assunto fosse estudado e o projeto refeito. Os taludes da Rodovia Canal de Tráfego se enquadram quase na sua totalidade, nos Sub-Grupos S<sub>5</sub> e S<sub>6</sub> propostos neste sistema de classificação.

VI.1.6 - Sub-Grupo S<sub>6</sub> - Deslizamentos em Maciços

## Constituídos de Solos Granulares com Intercalações de Camadas de Massapê

### VI.1.6.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Na formação São Sebastião, nos locais aonde ocorreram mudanças periódicas marcantes do ambiente de deposição, é comum se encontrar dentro de maciços predominantemente constituídos de sedimentos granulares, camadas alternadas e geralmente sub-paralelas de sedimentos argilosos (massapês), conforme exemplo típico mostrado na Figura VI.9. Nas demais formações geológicas da Bacia Sedimentar não são frequentes estes tipos de ocorrências.

Os mecanismos responsáveis pela instabilização desses taludes, são similares aos descritos anteriormente para o Sub-Grupo S<sub>5</sub>, apesar da maior complexidade litológica do perfil.

Nesses taludes, nos períodos de precipitações intensas, formam-se temporariamente níveis d'água suspensos nas camadas de materiais granulares sobrejacentes aos estratos de argila siltosa de baixa permeabilidade. São formadas portanto redes de percolação em vários níveis do talude, com direções paralelas às respectivas superfícies de contato, gerando em consequência, forças de percolação distintas nos estratos permeáveis. Nesses perfis podem ocorrer também camadas permeáveis aprisionadas entre camadas argilosas, submetidas a excessos de pressões neutras capazes de exercer influência na instabilização

dos taludes.

As camadas argilosas, eventualmente mais espessas, situadas na região central da cunha, onde os esforços atuantes normalmente são maiores, comandam as movimentações. As superfícies de ruptura coincidem em grande parte com estas superfícies de contato. Os estratos argilosos superiores geralmente são atravessados pelas cunhas de deslizamento. A componente rotacional das rupturas observadas pode ser grande em alguns casos.

Nas análises de estabilidade foram levados em consideração os níveis d'água suspensos dentro do talude, assim como as resistências ao cisalhamento diferenciadas ao longo da superfície de deslizamento. Especificamente nos trechos aonde a cunha de ruptura era coincidente com as superfícies de contato dos materiais granulares com os argilosos, foram utilizados parâmetros oriundos de ensaios de cisalhamento direto determinados ao longo dessas superfícies.

Na dinâmica evolutiva desses taludes é comum a ocorrência com o tempo, de pequenos deslizamentos seguidos de erosão superficial. Os sedimentos resultantes desses processos são arrastados pela água e pela gravidade, sendo depositados predominantemente ao longo dos taludes. A deposição contínua dos sedimentos dá origem à formação de capas de colúvio, constituídas da mistura de materiais argilosos e granulares, podendo dificultar a livre

drenagem das águas dos estratos mais permeáveis que afloram na face do talude. Em consequência, excessos de pressões neutras podem aí se desenvolver, piorando as condições de estabilidade, podendo ocasionar até rupturas mais profundas.

#### **VI.1.6.2 - Retro-Análise de Casos Históricos**

Na Figura VI.9 é apresentado um exemplo típico deste caso, com as estratificações argilosas intercaladas no maciço constituído de sedimentos granulares da formação São Sebastião.

Nesse talude foi implementado um minucioso plano de sondagens à percussão, furos à trado e escavações de poços, com o objetivo de definir o perfil do sub-solo e a superfície de ruptura, assim como para coleta de amostras para ensaios de laboratório.

Foram instalados piezômetros em várias profundidades dentro das camadas granulares, em pontos imediatamente acima da camada argilosa menos permeável, que serve de barreira para acumulação das águas infiltradas. Foram constatados, como mostrado na referida Figura, os níveis d'água suspensos que se formam dentro das camadas granulares do talude durante as precipitações intensas.

As inspeções realizadas "in situ" permitiram identificar várias trincas profundas de tração no topo do talude, assim como planos de contato entre as camadas de sedimentos granulares e argilosos, muito úmidos e com

baixíssima resistência, com evidências de movimentações ao longo da superfície de ruptura.

São apresentadas também as curvas de variação do F.S. do talude, admitindo-se a elevação simultânea dos níveis piezométricos, definindo a altura crítica média responsável pela ruptura do talude. A superfície de ruptura que ficou exposta nesse talude, permitiu que fossem medidas diretamente com trena, as espessuras de materiais úmidos, correspondentes aos níveis d'água suspensos dentro das camadas granulares que causaram a ruptura. Essas espessuras variaram de 1,50 a 2,20 m, valores bastante compatíveis com a altura crítica, em torno de 2,0 m, obtida na retro-análise utilizando-se os parâmetros residuais.

Neste Sub-Grupo também foram encontrados taludes recentemente escavados, poucos afetados estruturalmente, tendo-se atribuído as rupturas à elevação excessiva do nível d'água no interior das camadas granulares, com mobilização dos parâmetros de resistência próximos aos valores de pico.

#### VI.2 - GRUPO R - DESLIZAMENTOS EM ROCHAS

Na Bacia Sedimentar afloramentos rochosos são mais frequentes nas zonas próximas às falhas das formações pertencentes aos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas, atribuindo-se este fato aos levantamentos diferenciais que ocorreram no passado, seguidos da erosão dos materiais

intemperizados descobrindo o material rochoso subjacente.

As rochas encontram-se quase sempre afetadas estruturalmente devido as concentrações dos esforços ocorridos durante as movimentações tectônicas e devido aos alívios de pressão, delimitando dessa forma zonas potencialmente mais instáveis. Exemplos característicos são as rupturas dos folhelhos vermelhos da formação Aliança, que ocorrem constantemente nas zonas próximas aos falhamentos internos e principalmente ao longo dos bordos norte e oeste da Bacia Sedimentar. São também importantes as rupturas dos taludes em folhelhos do Grupo Ilhas do Porto de Aratú, situados numa região atravessada por falhamentos.

O relevo pouco ondulado da Bacia impõe de forma geral taludes naturais de pequena a média altura, com inclinações suaves, estabelecendo uma condição estável de equilíbrio. Os deslizamentos em maciços rochosos são provocados na maioria dos casos registrados, devido às escavações efetuadas pelo homem. As feições geológicas e as chuvas influenciam bastante na deflagração desses processos de instabilização.

As rupturas em zonas potencialmente instáveis podem ocorrer durante as próprias escavações ou principalmente nos períodos de precipitações intensas que sucedem esses trabalhos. Em períodos de estiagem, eventualmente tem-se registrado rupturas planares ao longo de superfícies de fraqueza pré-existentes, algum tempo após os cortes. Este

fenômeno é atribuído à ruptura progressiva, devido as perdas localizadas de resistência, tendendo com o avanço dos deslocamentos a mobilizar a resistência residual ao longo das descontinuidades.

Os perfis mais comuns de taludes onde ocorrem deslizamentos em rocha, foram descritos em detalhes nas Figuras IV.1, IV.4 e IV.5.

Foram instrumentados quatro taludes em folhelhos do Grupo Santo Amaro, com alturas entre 20 e 30 m, respectivamente nas estacas 1620, 1622, 1628 e 1657 da Adutora Pedra do Cavalo.

Os locais foram previamente escolhidos por se tratar dos únicos taludes em folhelhos com alturas expressivas existentes na Adutora e principalmente, pelo fato de posteriormente ser necessária a escavação de uma vala com cerca de 4,5 m de profundidade no pé desses taludes para instalação dos tubos enterrados da referida obra, temendo-se dessa forma o risco de deslizamentos de grandes proporções.

Nas seções principais de cada talude, foram instalados inclinômetros (Slope Indicator), posicionados nas bermas, com profundidades que ultrapassavam as cunhas potenciais de ruptura, assim como medidores de nível d'água na base e em outros locais específicos, objetivando interceptar as variações do N.A. estático do sub-solo devido as precipitações.

Procedeu-se o acompanhamento das leituras durante 5 anos, incluindo o período crítico de escavação da vala, tendo-se observado em resumo o seguinte:

- devido as cotas elevadas desses taludes, o N.A. estático do sub-solo, nos períodos de estiagem, situava-se a grande profundidade, somente sendo interceptado pelos medidores instalados na base dos taludes, à uma profundidade superior à 5,0 m.
- as precipitações pluviométricas não provocaram elevação do N.A. acima da base dos taludes.
- os planos de acamamento eram favoráveis à estabilidade, mergulhando com inclinações na ordem de 10°; a presença de veios de calcita cristalizada intercalados nas descontinuidades, conferiu maior resistência ao talude, tanto com relação a estabilidade quanto a desagregação superficial provocada pelo intemperismo.
- os deslocamentos registrados foram muito pequenos, com valores totais inferiores à 10 mm.

#### VI.2.1 - Sub-Grupo R<sub>1</sub> - Deslizamentos Estruturados em Rochas

##### VI.2.1.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Os casos registrados pelo autor, ocorreram em folhelhos e estavam condicionados a um padrão geológico e estrutural desfavorável. As cunhas de ruptura são normalmente coincidentes com as superfícies de fraqueza pré-existentes

no maciço, definidas por falhas, fraturas, planos de acamamento, juntas, etc...

As rupturas quase sempre são antecedidas do desenvolvimento de fendas de tração no topo dos taludes.

As infiltrações de água podem provocar em maciços muito fraturados a elevação "uniforme" do N.A. estático do subsolo ou em maciços menos fraturados, o preenchimento parcial ou total das descontinuidades geológicas causando pressões hidrostáticas sobre as cunhas.

Os folhelhos geralmente apresentam-se muito fraturados, com os planos de fratura oxidados, demonstrando a percolação constante de água em direção ao N.A. do subsolo. As medições do N.A. executadas através de medidores existentes em alguns desses taludes, confirmaram que os N.A. são normalmente profundos, em alguns casos sofrendo elevação rápida nos períodos de chuvas intensas. O caráter drenante desses materiais foi demonstrado com base nas prospecções e nos ensaios "in situ" citados neste trabalho.

A rede fluxo das águas infiltradas durante as precipitações é essencialmente vertical, dando-se através das fendas e fraturas que se estendem ao longo dos horizontes II e III, favorecendo naturalmente a estabilidade desses taludes.

O intemperismo vai exercendo ao longo do tempo, importância sobre os fatores de segurança dos taludes

rochosos, reduzindo a resistência nas descontinuidades geológicas,plainando saliências e destruindo a cimentação entre os grãos. A ação do intemperismo é mais severa nas superfícies de fraqueza, devido a percolação frequente de água, às vezes sob pressões elevadas.

A ocorrência de intercalações de lajes de rochas mais permeáveis dentro de maciços de folhelho, em situações desfavoráveis à estabilidade, pode condicionar a delimitação das cunhas de deslizamento. Os excessos de pressão neutra que eventualmente possam ai se desenvolver, contribuem de forma decisiva na instabilização das cunhas. Tem-se constatado no entanto, na Bacia, a presença dessas lajes com espessuras entre 0,2 e 1,0 m, na maioria das vezes favorecendo a estabilidade, permitindo que sejam encontrados taludes bastante íngremes e estáveis.

HENKEL e YUDHIBIR (1966) analisaram um talude constituído de camadas de arenito intercaladas num maciço de folhelho, semelhante a vários casos encontrados na Bacia Sedimentar do Recôncavo. De acordo com os referidos autores, trincas de tração apareceram na camada superficial de arenito assentada sobre o folhelho, as quais foram posteriormente preenchidas com água de chuva, causando pressões hidrostáticas capazes de instabilizar os blocos de arenito. A ruptura do talude ocorreu ao longo de um plano de fraqueza pré-existente coincidente com um dos planos de acamamento dos

folhelhos, tendo-se mobilizado as resistências residuais, conforme comparação entre os valores determinados nas retro-análises e nos ensaios de laboratório.

Os parâmetros de resistência utilizados nas retro-análises dos taludes desse Sub-Grupo, foram obtidos através de ensaios de cisalhamento direto coincidindo os planos de cisalhamento no laboratório com os planos de fraqueza da rocha. Nos casos em que ocorriam as argilas plásticas de preenchimento, verificou-se seu efeito na redução das tensões cisalhantes.

Alguns maciços estruturados já se encontram naturalmente em estado crítico de estabilidade. As escavações executadas na base desses taludes, às vezes por si só, são suficientes para desencadear processos de instabilização. Os mecanismos de instabilização na maioria das vezes são deflagrados quando ocorrem chuvas intensas, capazes de elevar o N.A. estático do sub-solo ou preencher as fraturas exercendo pressões hidrostáticas elevadas nas faces das cunhas de deslizamento. As chuvas mais críticas são as de maior intensidade e duração, tendo pouca importância para os casos do Sub-Grupo R<sub>1</sub>, os períodos de chuvas que antecedem o evento.

As pressões hidrostáticas ocorrem quando o volume de água infiltrada supera a condutividade hidráulica do maciço, preenchendo parcialmente ou totalmente as trincas.

As infiltrações concentradas de água nos taludes, devido

por exemplo a funcionamentos indesejáveis de sistemas de drenagem superficial, tem contribuído para a elevação das pressões hidrostáticas no interior dos maciços.

#### VI.2.1.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Vários deslizamentos típicos do Sub-Grupo R<sub>1</sub>, foram registrados na área destinada a implantação das obras viárias do Porto de Aratú, sendo encontrados os perfis típicos de intemperismo dos folhelhos mostrados nas Figuras IV.1 e IV.5.

Nesta região coincidentemente os taludes naturais em folhelhos, são relativamente altos, íngremes e foram severamente afetados pelas movimentações tectônicas verificadas no passado, que proporcionaram condições localizadas bastante desfavoráveis de estabilidade.

As escavações necessárias para os serviços de terraplenagem do sistema viário do Porto, provocaram o desconfinamento das bases desses taludes, criando condições de equilíbrio bastante precárias. As precipitações pluviométricas que ocorreram durante a execução dessa obra, foram suficientes para provocar vários deslizamentos.

Um dos casos mais importantes refere-se às sucessivas rupturas verificadas à partir de maio de 1978, em um talude em folhelho com cerca de 35,0 m de altura, próximo à Correia Transportadora do Porto de Aratú, descrito por

GUIMARÃES (1984). O autor dessa tese, na época também envolvido nos trabalhos do Porto, teve a oportunidade de presenciar as rupturas, acompanhar os estudos geológicos e geotécnicos, assim como participar do projeto inicial de estabilização.

Em setembro de 1978 registrou-se grande movimentação no referido talude, envolvendo um volume de cerca de 400.000 m<sup>3</sup>. Em janeiro de 1979 o deslizamento foi reativado após as precipitações intensas ocorridas em dois dias consecutivos, com índices respectivos de 81 e 70 mm.

Os trabalhos geológicos desenvolvidos na área definiram vários aspectos influentes na instabilização inicial desse talude, podendo-se citar dentre eles: presença de planos de fraqueza relacionados ao sistema de falhamento; inversão desfavorável no mergulho das camadas do talude devido às movimentações tectônicas; fraturamento intenso dos folhelhos; presença de filmes de argilas plásticas em algumas fraturas principais; presença de níveis d'água suspensos dentro de estratos mais fraturados de folhelhos com surgências de água na face dos taludes, principalmente nos contatos dos folhelhos com as intercalações de arenitos e siltitos.

Nas análises de estabilidade feitas por GUIMARÃES (1984), foram admitidas as seguintes hipóteses: cunha de ruptura crítica delimitada por um plano sub-horizontal passando nas proximidades do pé do talude e por outro sub-vertical, coincidente com uma das trincas principais do topo;

valores efetivos de coesão variando entre 0 e 15 KN/m<sup>2</sup> e ângulo de atrito entre 13° e 17°. Foi estudada a estabilidade do talude para diferentes hipóteses de posicionamento do N.A.

O referido talude mostrado na Fig. VI.10, foi retro-analisado neste trabalho levando em consideração os seguintes dados complementares:

- . parâmetros de resistência de amostras extraídas no local, representativos dos planos de fratura dos folhelhos com preenchimento de argilas plásticas.
- . registros da variação do N.A. efetuados até o presente momento, em poços profundos e em medidores de N.A. existentes no talude.

Admitiu-se o talude intensamente fraturado, possibilitando a elevação "uniforme" do N.A. dentro do maciço, devido as infiltrações efetivas de água.

A cunha de ruptura foi delimitada tomando por base as medições efetuadas "in situ", com relação aos planos de acamamento dos folhelhos inclinados de 10° com a horizontal e planos sub-verticais coincidentes com as fraturas, com inclinações de 30° com a vertical.

As análises foram efetuadas pelo método de SARMA (1979), utilizando-se os seguintes dados:

- . peso específico total dos folhelhos igual a 20 KN/m<sup>3</sup>
- . parâmetros de pico       $c' = 10 \text{ KN/m}^2$     e     $\theta' = 22^\circ$

. parâmetros residuais  $c'_{fr} = 4 \text{ KN/m}^2$  e  $\phi'_{fr} = 15^\circ$

Na Figura VI.10 é mostrada a variação do fator de segurança do talude com a elevação do N.A. do sub-solo, com determinação do N.A. crítico responsável pela ruptura.

As evidências das movimentações que ocorreram no passado, aliadas aos prováveis deslocamentos durante as escavações, por certo impuseram que as resistências residuais fossem mobilizadas ao longo dos planos de ruptura.

Os parâmetros residuais de resistência, determinados para estes materiais, se enquadram na faixa dos valores de resistência estimados nos estudos desenvolvidos por GUIMARÃES (1984).

A altura do N.A. crítico determinado nas análises é bastante compatível com a posição que provavelmente foi atingida no momento da ruptura, tomando como referência as leituras de campo.

O deslizamento do Porto de Aratú, além da presença do falhamento e do desconfinamento provocado pelas escavações na base do talude, teve uma contribuição muito grande, atribuída às infiltrações concentradas de água no topo, que se processaram através das trincas e fraturas do talude. Uma parcela das águas infiltradas foi proveniente de um sistema de drenagem executado para captação das águas superficiais numa grande área no topo do talude. Danos estruturais neste sistema, permitiram que num curto período de precipitações intensas, grande volume de água

fosse captado e descarregado no talude, contribuindo para a elevação do N.A dentro do maciço fraturado.

Durante as escavações para execução da estrada de serviço e das valas da Adutora Pedra do Cavalo, foram presenciados também alguns deslizamentos estruturados em folhelhos, que se verificaram logo após chuvas intensas, devido as pressões hidrostáticas atuantes sobre as cunhas. Em alguns locais, as fraturas que delimitavam as cunhas de ruptura, continham camadas delgadas de 1,0 a 2,0 cm de espessura de argilas plásticas ricas em carbonato de cálcio de baixa resistência.

#### VI.2.2 - Sub-Grupo R<sub>2</sub> - Deslizamentos de Horizontes de Transição Assentados em Horizontes Menos Permeáveis

##### VI.2.2.1 - Descrição dos Mecanismos de Instabilização

Os casos mais frequentes de deslizamentos desse Sub-Grupo estão relacionados aos folhelhos vermelhos da formação Aliança, devido ao perfil de intemperismo característico, com elevada espessura dos horizontes de transição IC e II e com horizontes IA e IB pouco desenvolvidos. Os exemplos típicos são encontrados comumente ao longo dos falhamentos, principalmente no contorno da Bacia nas imediações das cidades de Amélia Rodrigues, Taperoá, Ituberá e Camamú.

Os folhelhos da formação Aliança apresentam-se na superfície em estado bastante fraturado, devido às tensões concentradas a que foram submetidos e ao alívio das

pressões geostáticas devido às erosões. A exposição dessas rochas aos ciclos de retração e expansão tem contribuído também para aumentar o grau de fraturamento do material.

São comuns rupturas planares pouco espessas envolvendo o material fraturado situado na superfície do talude ou rupturas mais profundas, com formas até circulares geralmente na região do topo do talude, aonde os materiais dos horizontes IC e II são relativamente mais espessos.

Estes horizontes podem se encontrar superficialmente em um estado intenso de fraturamento, com comportamento de massa homogênea. Em alguns casos ocorrem também rupturas condicionadas pelas feições geológicas desfavoráveis.

Os planos de fraqueza apresentam-se geralmente "slikensided" devido as deformações cisalhantes. O desconfinamento produzido pelas escavações, às vezes é também suficiente para deflagrar processos de instabilização.

As rupturas ocorrem basicamente nos períodos de chuvas intensas, devido a infiltração das águas das precipitações pluviométricas através desses materiais fraturados de elevada permeabilidade. Formam-se temporariamente níveis d'água suspensos com redes de percolação dentro dos horizontes de transição, com direção paralela à superfície de contato com o horizonte III subjacente, geralmente menos permeável.

O N.A. estático do sub-solo medido nestes taludes sempre se encontrava a grandes profundidades, não interferindo no processo de instabilização, mesmo nos períodos críticos de altas precipitações.

A grandeza das forças de percolação é, à exemplo dos outros casos já citados, afetada pela elevação da rede de fluxo e pela inclinação da superfície de contato entre os horizontes de transição e o horizonte subjacente.

A percolação intensa de água através desses horizontes pode provocar erosão e carreamento das partículas finas. Este fenômeno é importante no condicionamento e em alguns casos na própria deflagração das instabilizações desses taludes.

#### VI.2.2.2 - Retro-Análise de Casos Históricos

Nas Figuras VI.11 e VI.12 são mostrados exemplos típicos de taludes envolvendo folhelhos intemperizados e fraturados, predominantes nos horizontes IC e II. Ao lado dos perfis típicos são apresentadas as curvas respectivas de variação do F.S. com a elevação do nível piezométrico dentro desses taludes.

Verifica-se que as alturas piezométricas críticas responsáveis pela ruptura desses taludes, estão correlacionadas a parâmetros próximos aos residuais, fenômeno este explicado pelas condições geológicas desfavoráveis, incluindo o intenso estado de fraturamento desses materiais e pelas movimentações que inevitavelmente

são submetidos durante as escavações.

Na Tabela VI.4 são apresentados dados característicos de alguns taludes retro-analisados.

#### VI.2.3 - Sub-Grupo R<sub>3</sub> - Desagregação Superficial de Rochas Argilosas e Queda de Lajes de Arenito e Siltito

A observação de diversos perfis de alteração de rochas argilosas da Bacia, principalmente nos taludes em folhelho, conduz às seguintes conclusões:

- nos locais abaixo do N.A., à depender da litologia, a rocha geralmente apresenta-se sã.
- nos locais acima do N.A., sujeitos a pequenas variações de umidade, os processos de alteração atuam de forma moderada.
- nos locais acima do N.A, expostos a ciclos pronunciados de umedecimento e secagem, os processos de alteração são bastante acelerados.

Os ciclos contínuos de expansão e retração, causam a desagregação superficial muito rápida dessas rochas, formando mantos constituídos por pequenas placas de espessuras milimétrica, fenômeno este denominado de "empastilhamento".

A espessura da camada de material desagregado aumenta rapidamente no período inicial da exposição, alcançando segundo medições feitas pelo autor em vários taludes, 10 a

15 cm nos primeiros dois meses após os cortes, diminuindo depois consideravelmente a sua velocidade de evolução, porque o próprio manto desse material começa a dar proteção às rochas, reduzindo as variações de umidade.

Os materiais desagregados vão sendo gradativamente arrastados pelas águas de chuvas, pela gravidade e até mesmo pelo vento, indo se depositar geralmente no pé dos taludes. Os processos de desagregação e carreamento dos materiais resultantes, vão-se repetindo ao longo do tempo. Os efeitos desse fenômeno são marcados nas superfícies dos taludes pela formação de ravinas profundas.

Testes experimentais foram feitos pelo autor no sentido de verificar a sensibilidade dessas rochas aos ciclos de umedecimento e secagem. Blocos de folhelhos intactos foram expostos ao sol e submetidos periodicamente a chuvas artificiais em laboratório. Verificou-se que após alguns ciclos, os folhelhos ficavam completamente desagregados, embora o efeito de desconfinamento exerça muita influência no agravamento do fenômeno. Soluções capazes de reduzir as variações de umidade dessas rochas, ao longo do tempo, são bastante eficazes no tratamento desses taludes.

O maior problema decorrente dos fenômenos do "empastilhamento" e consequente erosão do material desagregado, está relacionado ao entupimento dos sistemas de drenagem superficial. A experiência tem demonstrado que nesses locais a drenagem não funciona, afetando diretamente o comportamento estrutural das obras aí

implantadas. Na Bacia são inúmeros os taludes rochosos das rodovias e ferrovias que apresentam este problema.

Nos taludes constituídos de rochas argilosas com intercalações de veios de arenitos ou siltitos compactos, a erosão diferencial geralmente provoca descalçamento da base das camadas das rochas granulares mais resistentes, culminando com a queda de blocos e lajes suspensas.

VALORES REITORA PEDA DO CAVALO (estacas)	PARAMETROS DE RESISTENCIA				FAT. SEGURANCA		BET. DA COESAO (PARECIDA DA SUCÇÃO) PARA F.S = 1 (kN/m²)	
	PICO		RESIDUAL		PICO	RESIDUAL	1a HIPÓTESE (PICO)	2a HIPÓTESE (RES.)
	c'	q'	c'r	q'r				
1617+10	10	17	0	15	1.43	0.55	4.4	4.8
1622	10	17	0	12	1.43	0.45	4.4	7.0
1628	6	16	0	12	1.03	0.45	5.0	7.0
1657	5	18	0	13	1.08	0.49	4.0	6.5
2096	10	19	0	13	1.51	0.49	3.4	6.5
2098	8	19	0	12	1.35	0.45	3.4	7.0
2133	5	21	0	15	1.28	0.45	2.6	7.0
2550	7	21	0	12	1.36	0.45	2.6	7.0
2564	4	22	0	13	1.16	0.49	2.2	6.5
2582	10	20	0	13	1.55	0.49	3.0	6.5

TABELA VI . 1 - FATORES DE SEGURANCA DOS VALORES (IV: 1,5 H) RETIRADO - ANALISADOS DO SUB-GRUPO S1

TALHES	CONTATO COLUVIO X MASSAPE		ALTURA DO TALHE	INCL. DO TALHE	INCL. SUPERF. CONTATO	ESPES. MEDIA COLUVIO	CILINDRO DE DIFUSAO			ALT. PIEZ. CRIT.
	C' r	q' r					L	D	V	
	(kN/m²)	(o)	(m)	(o)	(o)	(m)	(m)	(m)	(m³)	(m)
01	1	18	18	12	14	2,0	49	28	1623	0,75
02	1	18	15	14	15	1,5	46	15	1129	0,35
03	1	18	21	18	20	3,0	35	15	1623	0,88
04	1	14	14	16	18	1,5	16	28	563	0,68
05	1	14	16	11	12	1,5	55	15	1723	1,00

hs crit. - altura piezométrica crítica da rede de percolação, equivalente a FS=1

TABELA VI.2 - DADOS CARACTERÍSTICOS DOS TALHES RETO - ANALISADOS DO SIS - GRUPO S4.

TAL. Nº	PARAMETROS DE RESISTENCIA								ALT. E0 TAL.	INCL. E0 TAL.	INCL. SUP. CONT.	CICLO DE EFLUENCIA			ALT. PIEZ. CRIT. hs			
	AREIA SILTO - ANGULOSA				CONTATO AREIA SILTO - ANGULOSA							COMP.	LARG.	VOL				
	PICO		RESIDUAL		PICO		RESIDUAL											
	c'	θ'	c' r	θ' r	c'	θ'	c' r	θ' r	(m)	(m)	(m)	(a)	(a)	(a)	(m)			
	KN/m²	(a)	KN/m²	(a)	KN/m²	(a)	KN/m²	(a)										
06	10	31	0	39	10	26	0	25	10	17	12	65	35	11029	0.65			
07	8	27	0	26	10	26	0	25	15	23	16	38	28	3023	1.10			
10	10	31	0	39	20	28	10	27	22	35	26	17	15	1509	2.03			
11	8	31	0	29	10	28	0	28	12	38	28	15	20	1509	0.24			
13	10	31	0	39	20	28	10	27	18	35	18	22	38	3303	2.9			
15	8	27	0	26	11	26	0	25	12	38	25	18	10	1023	1.03			
26	10	31	0	39	15	28	5	27	12	35	22	28	28	2023	0.68			
33	10	25	0	24	10	24	0	22	12	14	8	22	48	4223	2.04			

hs crit.- altura piezométrica crítica da rede de percolação, equivalente a FS = 1

TABELA VI.3 - DADOS CARACTERÍSTICOS DOS TALHES RETRO-ANALISADOS DO SUB-GRUPO S5

TALIDE	PARAMETROS DE RESISTENCIA				ALTURA DO TALIDE	INCL. DO TALIDE	CICLO DE INFLUENCIA			ALT. PIEZ. CRIT.		
	FOLHADO FEAT. INTEMP. (B0+B1+II)						COMP.	LAR.	VOL.			
	PICO		RESIDUAL									
	c'	θ'	c' r	θ' r			(m)	(o)	(m)	(m)		
27	20	15	8	14	15	39	22	27	1033	1.6		
29	20	15	4	14	18	32	22	59	4593	4.0		
31	20	15	8	14	16	38	21	33	4239	2.4		
32	10	15	8	14	10	22	15	25	3899	1.5		

hs crit. - altura piezométrica crítica da rede de percolação, equivalente a  $FS = 1$

TABELA VI.4 - PAROS CARACTERÍSTICOS DOS TALIDES RETRO - ANALISADOS DO SUB-GRUPO II.

## TALUDE 38

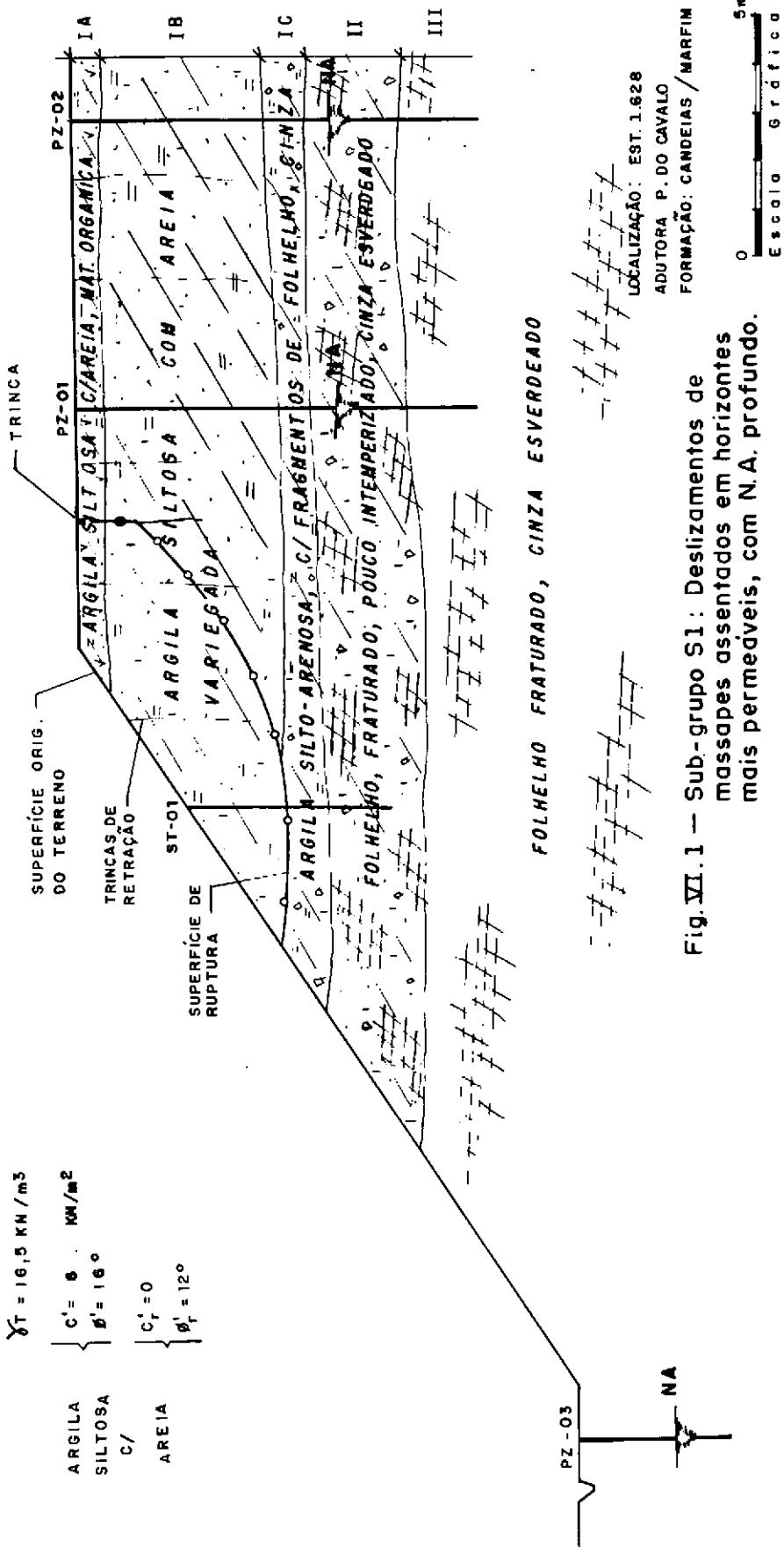


Fig. VII.1 — Sub.-grupo S1: Deslizamentos de massapés assentados em horizontes mais permeáveis, com N.A. profundo.

## TALUDE 24

232

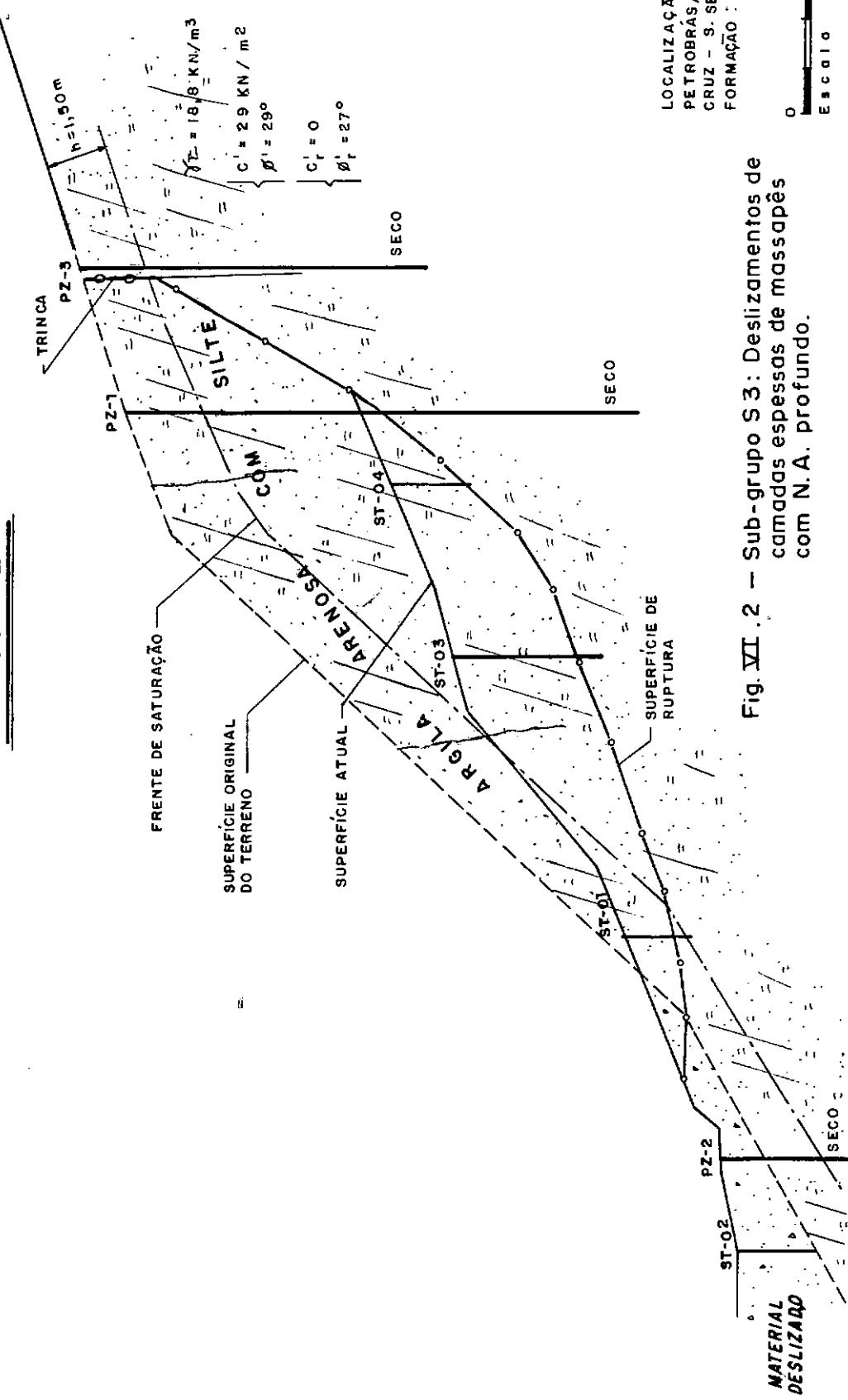


Fig. VII . 2 — Sub-grupo S 3: Deslizamentos de camadas espessas de massapês com N.A. profundo.

## TALUDE 16

233

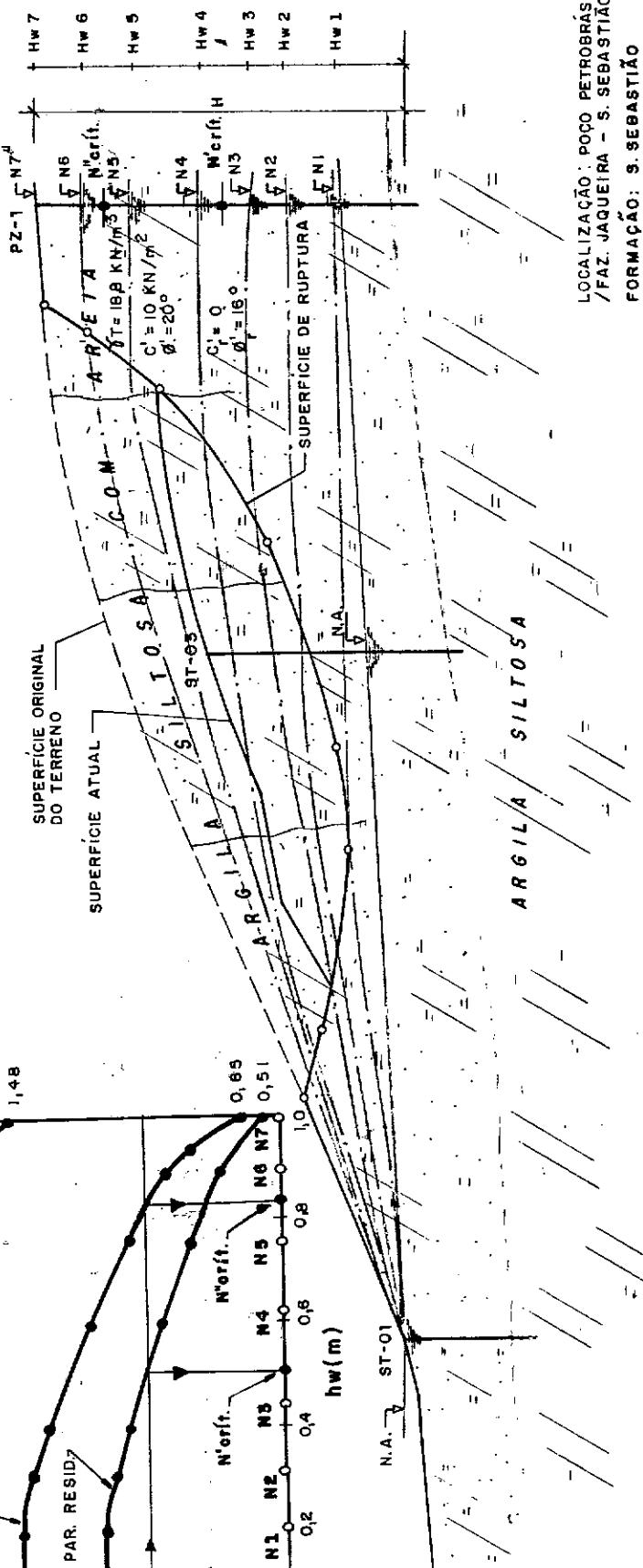
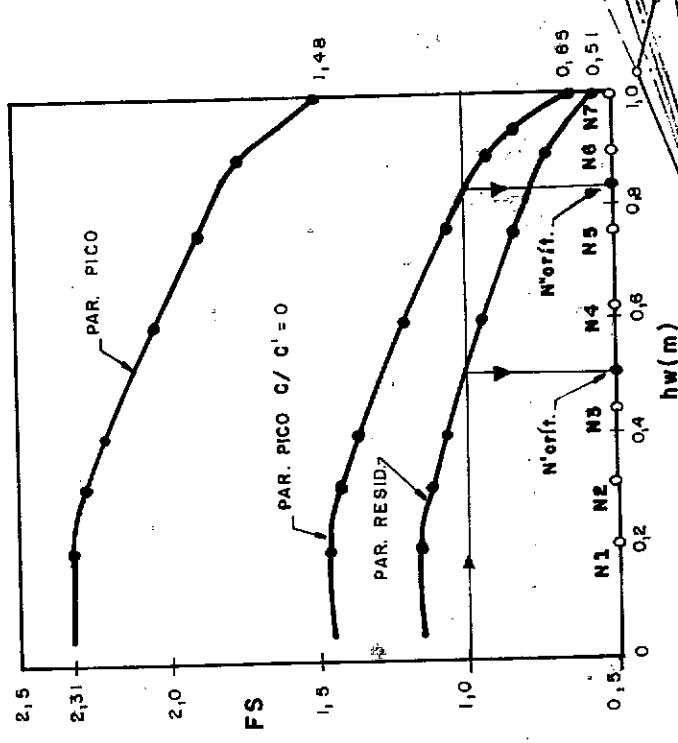


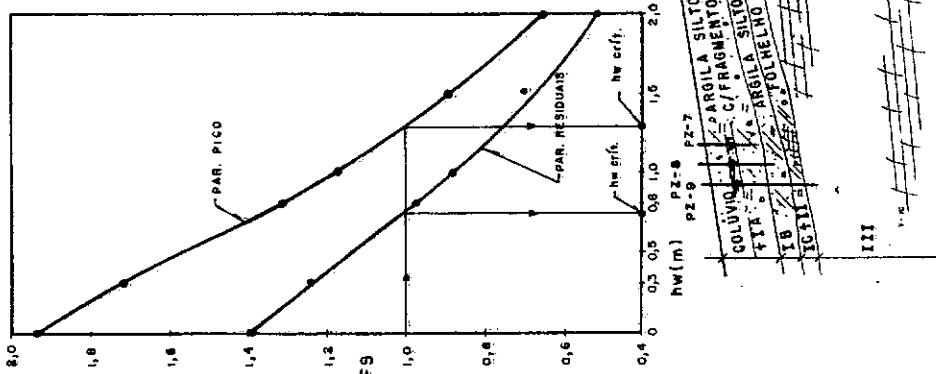
Fig. VII. 3 — Sub-grupo S3 : Deslizamentos de massapés, com N.A. pouco profundo.

Escala Gráfica  
0 5m

LOCALIZAÇÃO: POCO PETROBRAS  
/FAZ. JAQUEIRA - S. SEBASTIÃO.

FORMAÇÃO: S. SEBASTIÃO

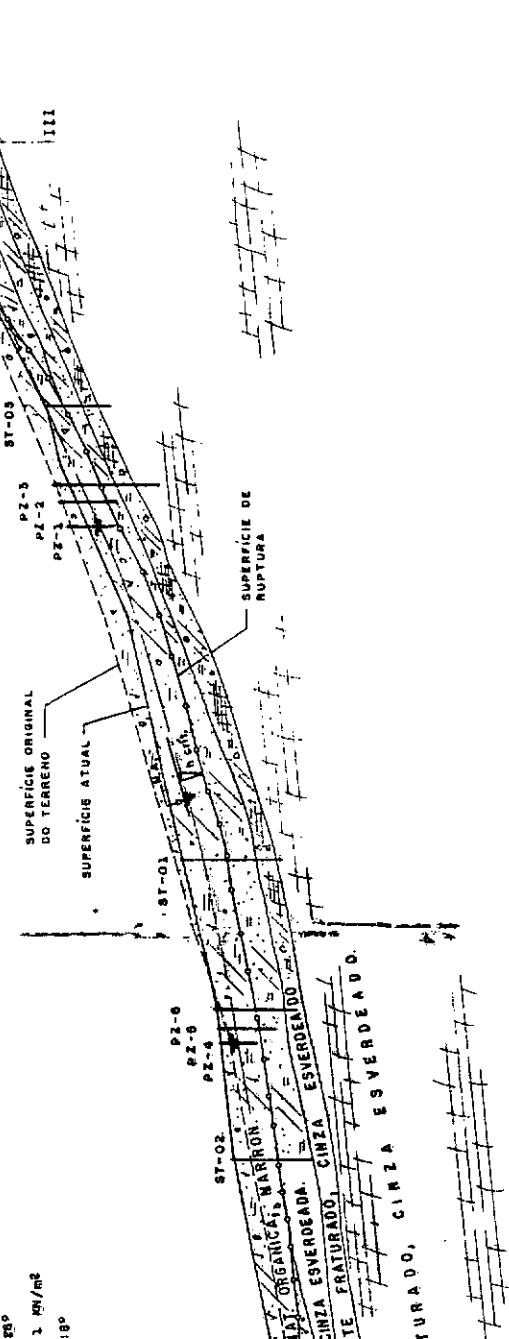
## TALUDE 01



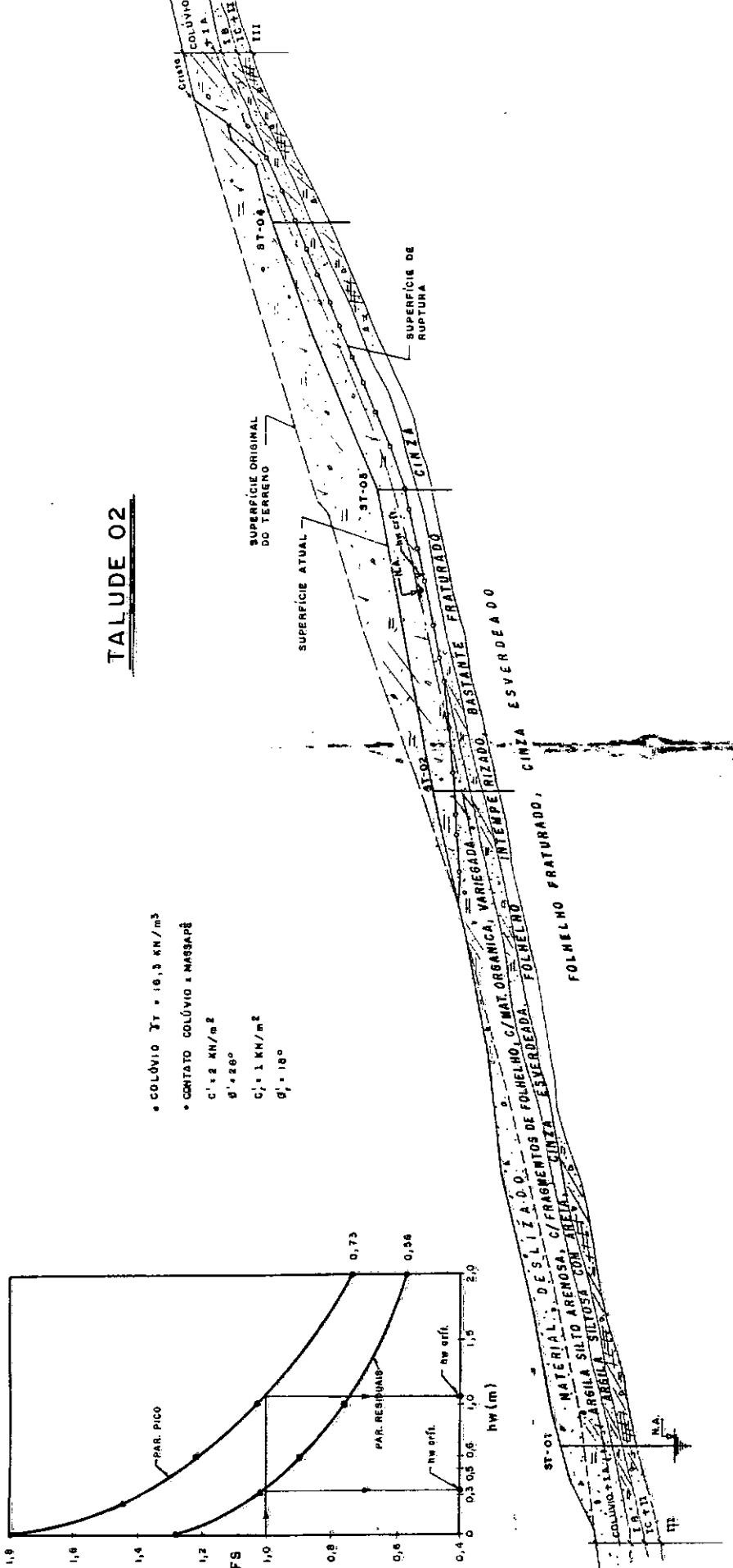
\* COLÚMPIO  $\delta_T = 16,3 \text{ kN/m}^3$   
 \* CONTATO COLÚMPIO + MASSAPÉ  
 $C_f = 8 \text{ kN/m}^2$   
 $d_f = 65^\circ$   
 $C_l = 1 \text{ kN/m}^2$   
 $d_l = 18^\circ$

SUPERFÍCIE ORIGINAL DO TERRENO

SUPERFÍCIE ATUAL



TALUDE 02



**Fig. VII. 5** — Sub-grupo S4: Deslizamento de colúvios assentados em horizontes menos permeáveis (exemplo típico n.º 2)

**LOCALIZAÇÃO:** ESTRADA S/º AMARO -  
OLIVEIRA DOS BREJINHOS. - Km 2.  
**FORMAÇÃO:** CANDIAS E MARFIM

59  
Escola Gráfica

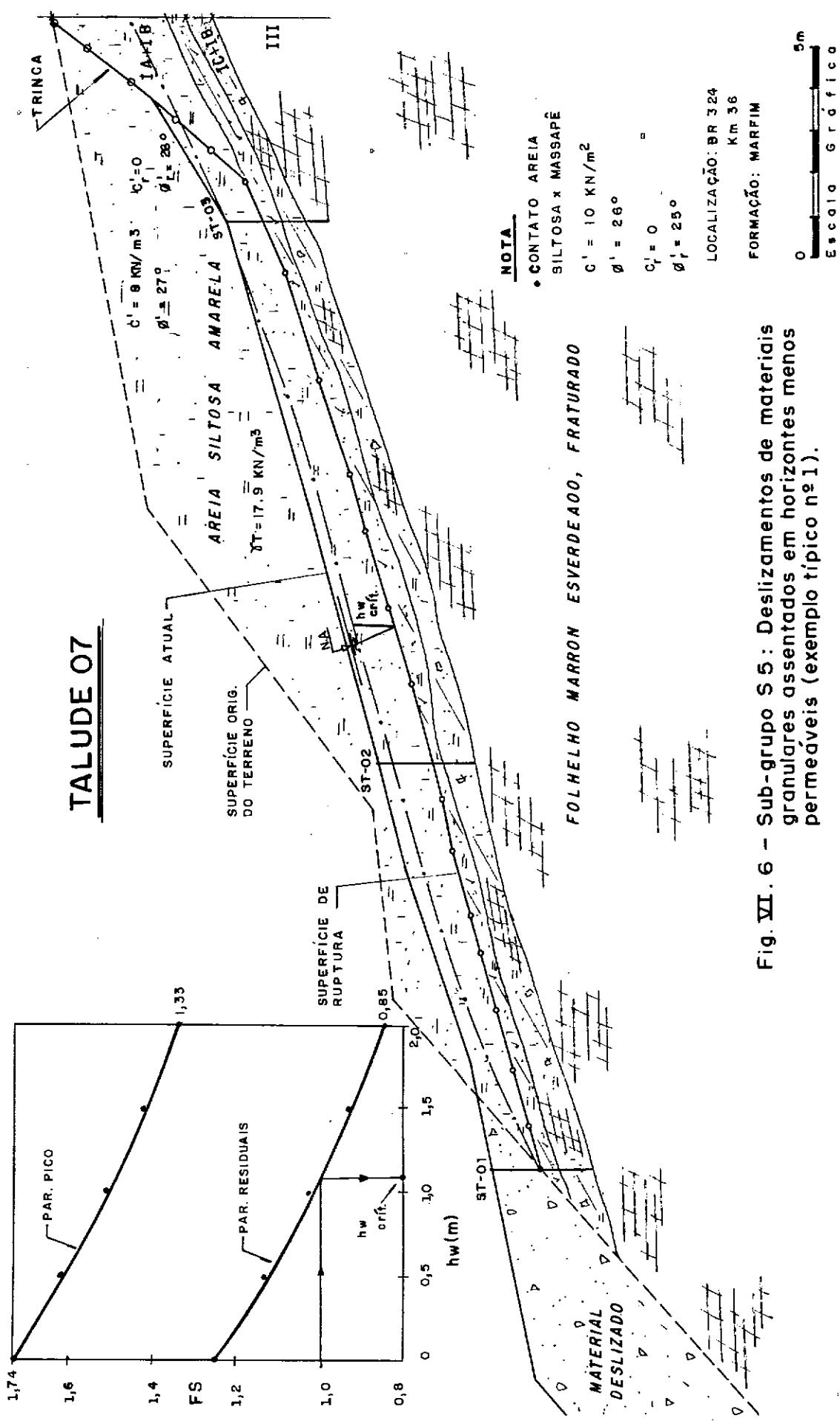


Fig. VII. 6 – Sub-grupo S 5 : Deslizamentos de materiais granulares assentados em horizontes menos permeáveis (exemplo típico nº 1).

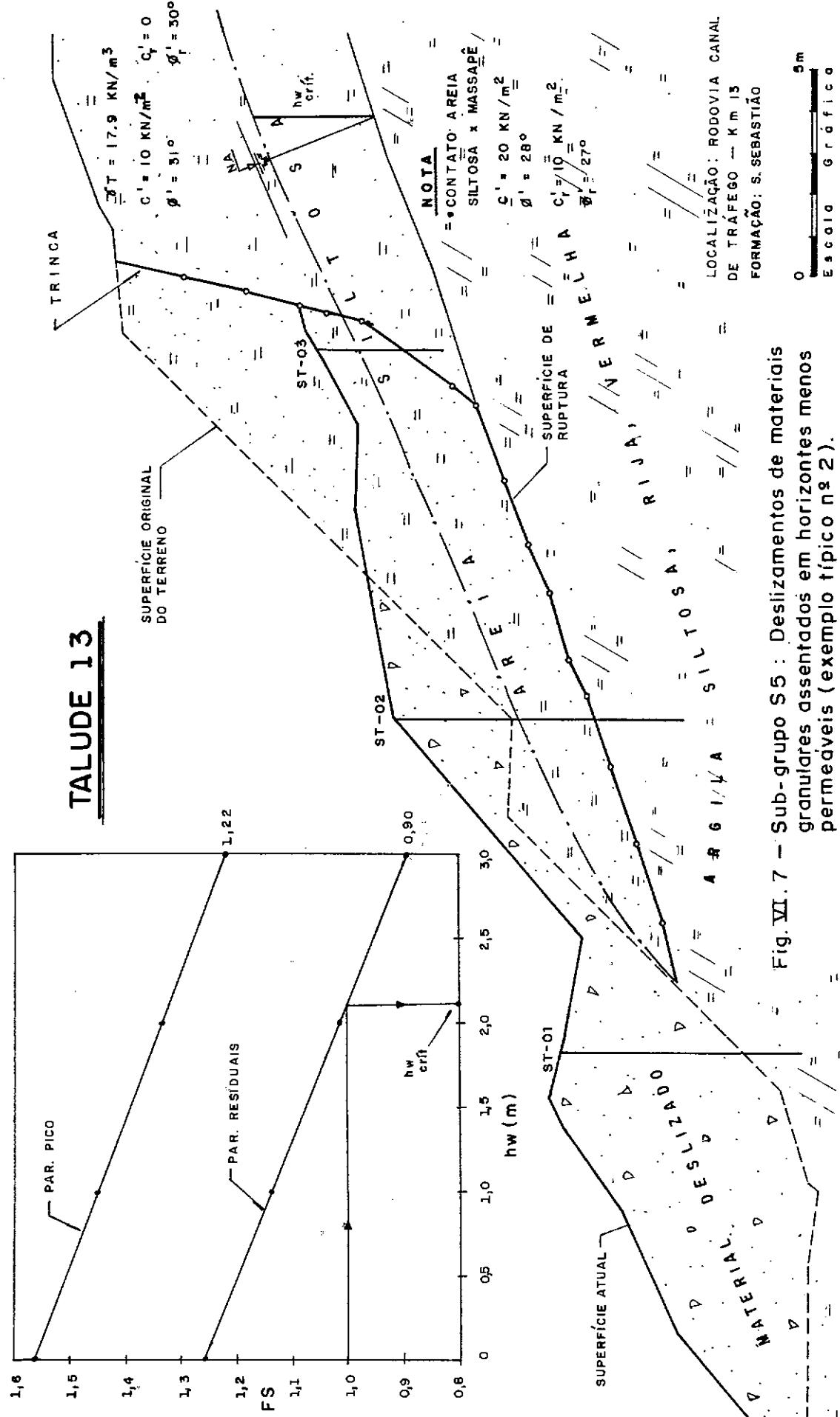


Fig. VI. 7 - Sub-grupo S5 : Deslizamentos de materiais granulares assentados em horizontes menos permeáveis (exemplo típico nº 2).

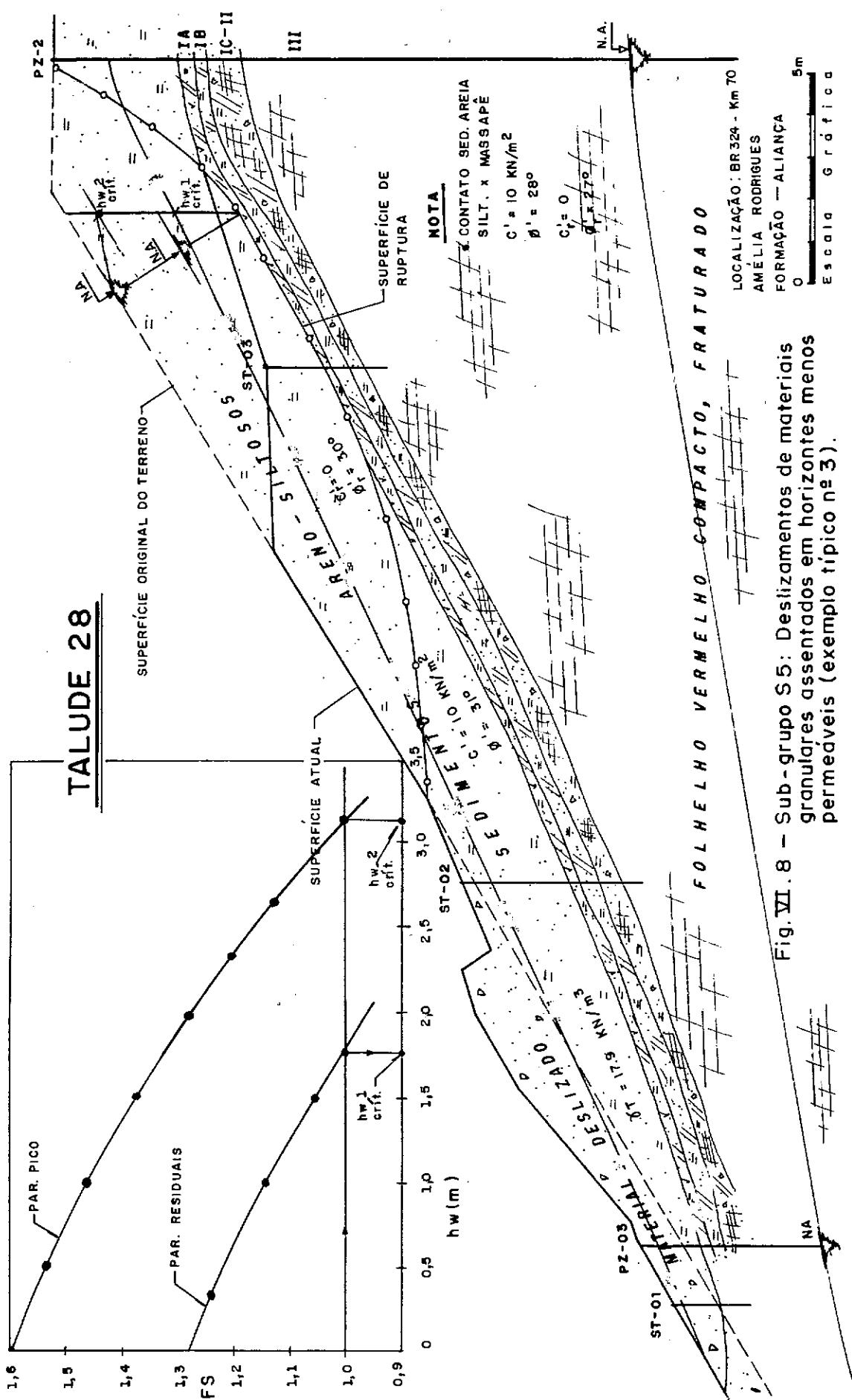
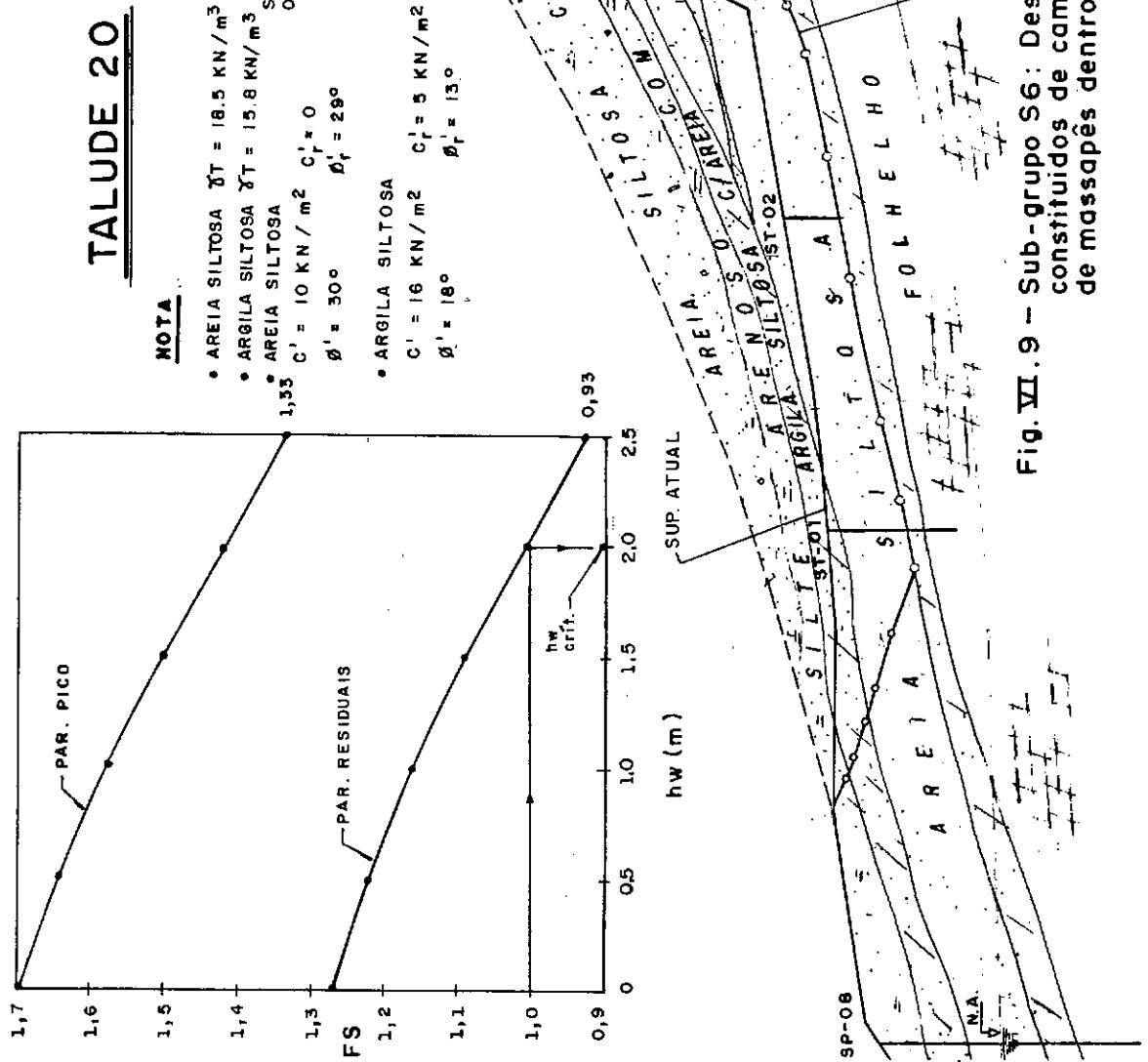


Fig. VII. 8 – Sub-grupo S5: Deslizamentos de materiais granulares assentados em horizontes menos permeáveis (exemplo típico nº 3).



LOCALIZAÇÃO: FAZ. N. SENHORA  
DO CARMO/EMBRATEL-S. SEBASTIÃO  
FORMAÇÃO: S. SEBASTIÃO

0 5m  
Escala Gráfica

**Fig. VII. 9 – Sub-grupo S6:** Deslizamentos de maciços constituidos de camadas inter-estratificadas de massâpes dentro de materiais granulares.

## TALUDE 40

### NOTA

#### DESCONTINUIDADES DOS FOLHELHOS

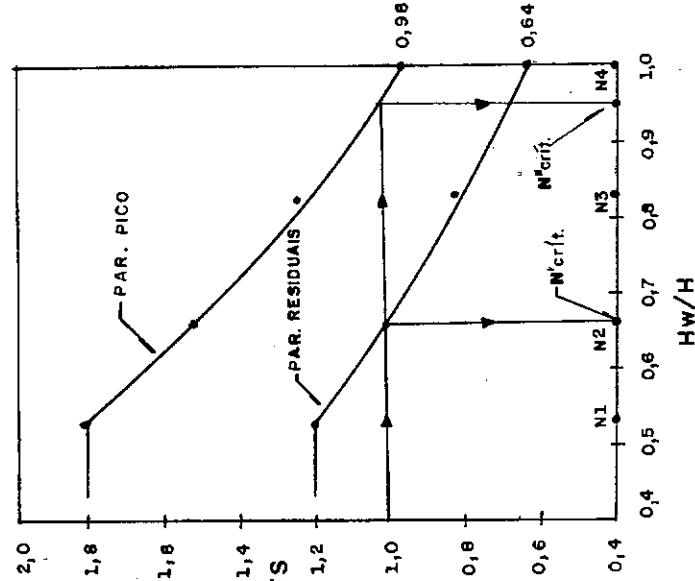
$$c' = 10 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi' = 22^\circ$$

$$c'_r = 4 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi'_r = 15^\circ$$

$$\bullet \text{FOLHELHO } \gamma_r = 20 \text{ KN/m}^3$$



LOCALIZAÇÃO: PORTO DE ARATÚ  
CORREIA TRANSPORTADORA.

240

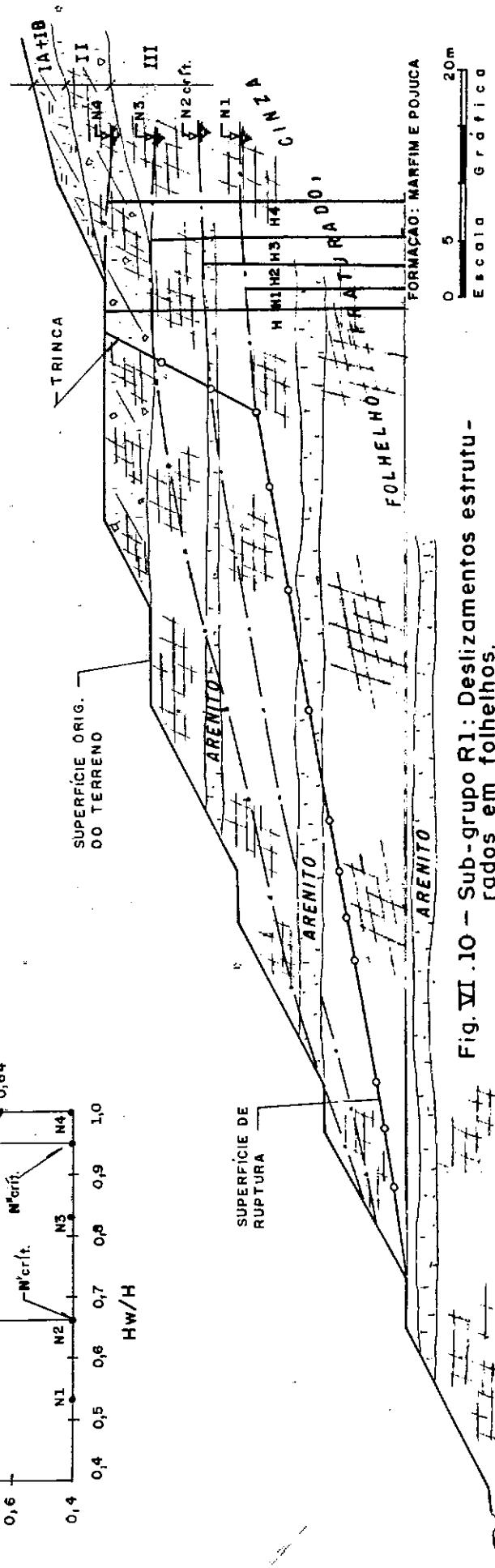
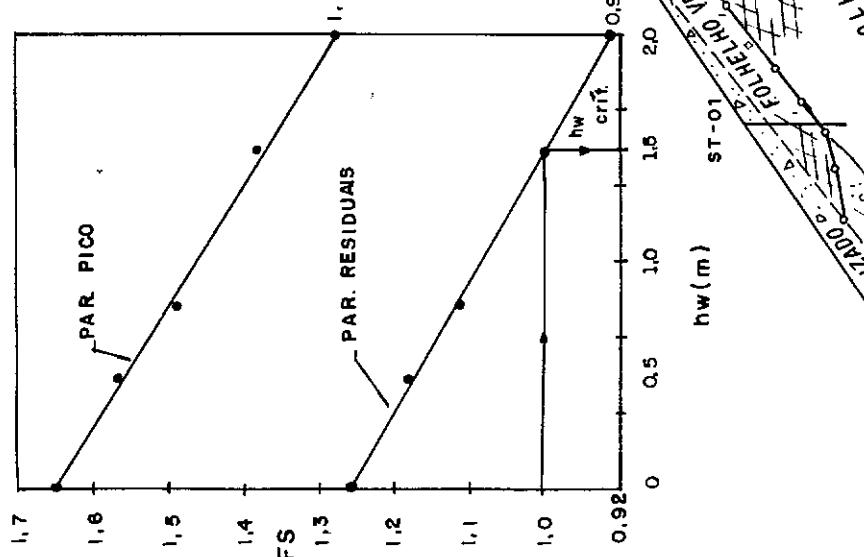


Fig. VI .10 — Sub-grupo R1: Deslizamentos estruturados em folhelhos.

TALUDE 27



- FOLHELHO FRAT. INTEN.P.  
( HOR. IC + III )
- $C' = 20 \text{ KN/m}^2$
- $\theta' = 15^\circ$
- $C'_r = 8 \text{ KN/m}^2$
- $\alpha = 10^\circ$

$$C_r = \theta \text{ kN/m}^2$$

140

$$x_T = 19.1 \text{ KN/m}^3$$

LOCALIZAÇÃO: BR 324 - KM 76  
AMELIA RODRIGUES  
FORMAÇÃO: ALIANÇA

8

卷之三

Ecclesiastes

**Fig. VI.11** – Sub-grupo R2: Deslizamentos dos horizontes de transição (exemplo típico nº 1).

# TALUDE 31

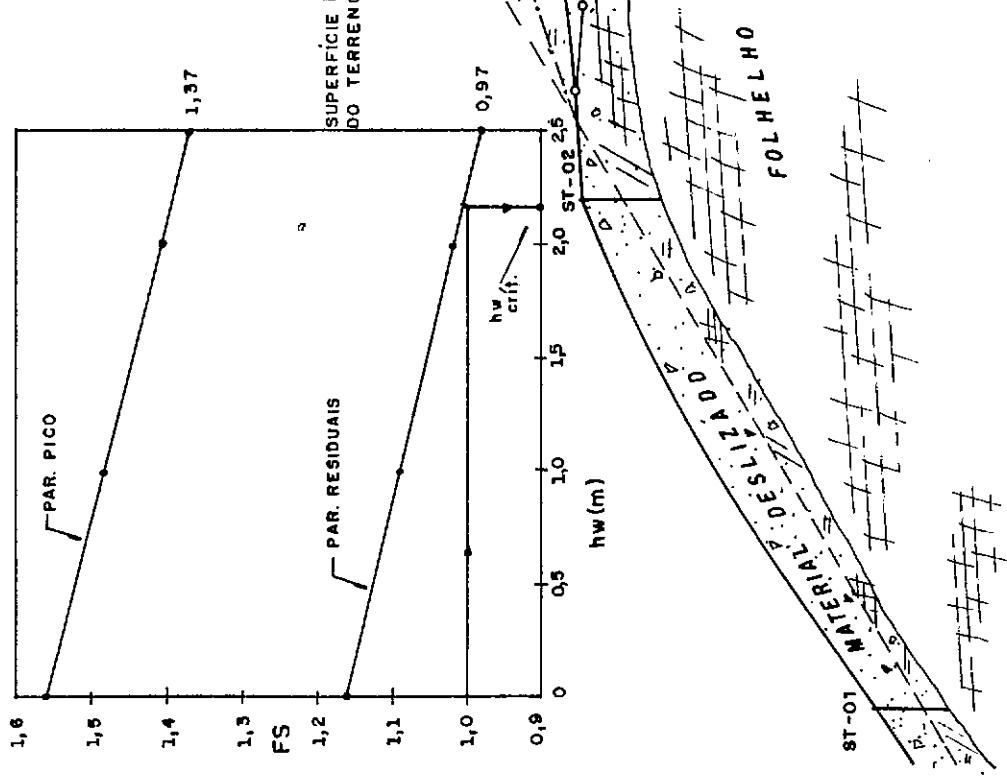


Fig. VII.12 – Sub-grupo R2 : Deslizamentos dos horizontes de transição (exemplo típico nº 2).

LOCALIZAÇÃO : BR 324 - Km 72  
AMELIA RODRIGUES  
FORMAÇÃO: ALIANÇA

Escala Gráfica  
0 5 m

## CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES

As conclusões obtidas durante o desenvolvimento desse trabalho foram inseridas nos seus Capítulos respectivos, sendo citadas à seguir somente as consideradas mais importantes:

- Os materiais pertencentes a horizontes similares dos perfis de intemperismo das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, apresentam características e propriedades bastante semelhantes; a diferenciação geológica entre estas formações é bastante difícil e em termos de comportamento de engenharia, principalmente com relação à estabilidade de taludes naturais, a diferenciação não tem muita importância, a distinção deve ser feita basicamente no perfil entre os diferentes horizontes de intemperismo.
- Os minerais argílicos responsáveis pelas características expansivas dos massapês, tais como: montmorilonita, camadas mistas ilita-montmorilonita e ilita, já se encontram em sua grande maioria na própria constituição das rochas matrizes; a parcela complementar presente nos massapês é formada durante o processo de intemperização "in situ" dessas rochas.
- Taludes altos e íngremes eventualmente encontrados na Bacia, geralmente apresentam trincas de tração no topo.
- As rupturas profundas envolvendo solos geralmente ocorrem na formação S. Sebastião, e ,envolvendo rochas,

estão praticamente limitadas às formações que compõem os Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas.

- As descontinuidades geológicas e as estruturas herdadas da rocha matriz, geralmente delimitam as superfícies de deslizamento que atravessam os horizontes IC, II e III.
- As estruturas herdadas da rocha matriz preenchidas com argilas plásticas, encontradas nos horizontes IA e IB, geralmente não influenciam as rupturas superficiais que ocorrem nestes horizontes, porque a resistência dos materiais de preenchimento, embora baixa, está na mesma ordem de grandeza da resistência dos massapés.
- Ao longo dos sistemas principais de fraturamento dos folhelhos, verifica-se com frequência a deposição de filmes milimétricos de óxido de ferro sobre os planos de fratura, devido a percolação das águas infiltradas das precipitações pluviométricas, em direção preferencial ao N.A. do sub-solo ou à face dos taludes, geralmente confirmando o caráter drenante desses maciços.
- Em alguns locais tem-se verificado a existência de camadas delgadas de argila plástica depositadas nas descontinuidades dos folhelhos, com espessura de até 3 cm; estes materiais reduzem a resistência ao cisalhamento ao longo das descontinuidades e às vezes possibilitam o desenvolvimento de pressões hidrostáticas sobre as cunhas; estas argilas são formadas principalmente devido a intemperização "in situ" das rochas e/ou carreadas dos horizontes intemperizados sobrejacentes.

- Em alguns cortes foi constatada também, nas zonas abaixo do N.A., a presença de camadas com 1 a 2 cm de espessura de um argila plástica, riquíssima em carbonato de cálcio, denominada de calcita, preenchendo as fraturas principais dos folhelhos.
- Em regiões mais elevadas, onde o N.A. é profundo, tem-se constatado a ocorrência de veios delgados de calcita fibrosa, cristalizada, entre os planos de estratificação ou preenchendo as fraturas principais dos folhelhos; a calcita nesta forma confere aos taludes maior resistência aos processos erosivos, além de permitir que taludes bastantes íngremes permaneçam estáveis ao longo do tempo, devido ao tipo de armadura que é criada pelos veios resistentes desse material.
- O conhecimento regional do regime do fluxo das águas do sub-solo, é importante porque define os locais de descarga das águas que infiltram nas áreas adjacentes aos taludes, delimitando dessa forma zonas potencialmente mais instáveis, onde se desenvolvem excessos de pressão neutra.
- Os deslizamentos que ocorrem na Bacia, estão de forma geral diretamente associados às épocas de elevadas precipitações pluviométricas; a infiltração efetiva das águas, na maioria das vezes, gera condições localizadas e temporárias de pressões capazes de instabilizar os taludes.
- A complexidade geológica da Bacia, no que se refere

principalmente a diversidade litológica, aos perfis de intemperismo dos taludes e as feições geológicas marcantes, fazem com que a atuação da água como agente deflagrador do processo de instabilização tenha influência diferente para cada situação específica.

- A água pode participar do processo de instabilização dos taludes da Bacia das seguintes formas principais: formando níveis d'água suspensos dentro das camadas mais permeáveis, gerando em consequência redes de percolação nos taludes; percolando através das rochas mais permeáveis (arenitos, siltitos, etc.) ou de rochas argilosas fraturadas, também gerando forças de percolação elevadas; preenchendo as descontinuidades geológicas das rochas e exercendo pressões hidrostáticas sobre as cunhas; percolando através de horizontes fraturados e intemperizados, podendo carrear os finos e provocar o fenômeno de "piping"; provocando perda de succão dos massapés pelo aumento da umidade e finalmente gerando subpressões nas cunhas de ruptura pela elevação do N.A. do sub-solo.

- Os deslizamentos na Bacia geralmente ocorrem em taludes de corte executados pelo homem durante ou logo após as primeiras chuvas mais intensas que sucedem a execução dessas obras; os índices pluviométricos responsáveis por esses deslizamentos, geralmente são suportáveis pelas encostas naturais e pelos taludes viários mais antigos, que obviamente já foram submetidos a solicitações dessa

grandeza.

- As encostas naturais geralmente são suaves e de pequena altura, sofrendo ajustes contínuos, estando portanto já adaptadas às condições impostas pela Natureza; os problemas de instabilização são registrados geralmente em épocas de chuvas excepcionais afetando as encostas em condições de estabilidade mais precárias.
- Os deslizamentos mais catastróficos e generalizados, sempre ocorrem nos meses de abril e maio, coincidindo com os períodos de precipitações mais intensas; em novembro e/ou dezembro, as elevadas precipitações tem causado alguns problemas isolados de instabilização.
- As chuvas antecedentes aos deslizamentos exercem influência na instabilização dos taludes constituídos predominantemente de massapês, devendo-se este fato ao aumento prévio da umidade do solo, proporcionando em consequência o avanço mais rápido da frente de saturação durante as precipitações intensas; nesses taludes as rupturas se dão basicamente pela perda parcial ou total da succção devido ao aumento da umidade dos solos.
- Nos taludes com presença de camadas granulares permeáveis simplesmente apoiadas ou intercaladas com camadas argilosas de baixa permeabilidade, as chuvas intensas capazes de elevar a espessura das redes de percolação, que se formam dentro desses materiais granulares, são responsáveis pela instabilização dos taludes; as chuvas antecedentes não exercem muita

influência, devido a capacidade drenante e a elevada evaporação da água através desses materiais.

- Nos taludes rochosos constituídos basicamente de folhelhos muito fraturados, com N.A. pouco profundo, a instabilização é devida principalmente a infiltração das águas precipitadas, provocando elevação rápida do N.A. dentro do maciço; no caso de folhelhos medianamente a pouco fraturados, a água infiltrada pode preencher as descontinuidades, gerando pressões hidrostáticas sobre as cunhas, ocorrendo este fenômeno quando o volume de água infiltrada é superior à capacidade drenante do maciço.

- A cobertura vegetal favorece a estabilidade dos taludes da Bacia Sedimentar, reduzindo a ação dos agentes climáticos sobre o maciço; este aspecto é muito importante devido à presença dos solos e das rochas expansivas muito sensíveis às variações de umidade e pela ocorrência abundante de solos granulares, facilmente erodíveis pelas águas de chuva.

- Os estudos dos mecanismos de instabilização dos taludes da Bacia, foram baseados principalmente nos perfis de intemperismo, tendo-se observado após inúmeras inspeções geotécnicas de campo, que dentro de uma determinada formação geológica, ocorriam de forma repetitiva taludes com perfis semelhantes.

- Ao longo da Bacia afloram mantos pouco espessos, de solos residuais provenientes da intemperização predominantemente física das rochas sedimentares que

compõem os Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas; nos locais de ocorrência da formação S. Sebastião, normalmente são encontrados mantos espessos de sedimentos não consolidados, constituídos em sua maioria de areias siltosas e siltes arenosos, com intercalações de camadas de argilas siltosas expansivas (massapês), eventualmente à maiores profundidades são encontrados folhelhos subjacentes aos sedimentos.

- A formação Aliança pertencente ao Grupo Brotas é facilmente identificada no campo, por ocorrer basicamente nas bordas da Bacia e ao longo dos falhamentos internos, como também pela coloração avermelhada característica dos folhelhos, devido a presença abundante de óxido de ferro que confere também cimentação forte a estas rochas.

- As argilas silto-arenosas (massapês) da formação S. Sebastião são menos expansivas do que os massapês provenientes da intemperização das demais formações expansivas da Bacia, predominando na sua composição minerais argílicos tipo ilita e caulinita; os sedimentos granulares (areias silto-argilosas) desta formação, apresentam na fração argila, teores elevados de caulinita e pequena quantidade de ilita, que lhe conferem baixo potencial de expansibilidade.

- Ao longo das superfícies de ruptura dos taludes deslizados da Bacia, as resistências mobilizadas dependem do perfil de intemperismo e do mecanismo de instabilização, em conformidade com o sistema de

classificação proposto no trabalho.

- A determinação dos parâmetros residuais em laboratório, através de ensaios de cisalhamento direto, tipo CD, reversível, apresentou boa correspondência com os valores obtidos nas retro-análises.
- A resistência de pico dos massapês geralmente apresentam envoltória não linear no trecho correspondente à baixas pressões normais, função do pré-adensamento desses solos.
- A análise comparativa da resistência dos massapês e dos sedimentos areno-argilosos, obtidas nos ensaios triaxiais e de cisalhamento direto, mostrou de forma geral pouca discrepância, apesar do fissuramento dos massapês.
- Os massapês geralmente quando submetidos a deformações cisalhantes moderadas, geralmente mobilizam as resistências residuais.
- Os parâmetros de resistência de pico e residual, ao longo das descontinuidades, apresentaram em geral pouca diferença, atribuindo-se este fenômeno às movimentações que devem ter ocorrido no passado nos planos de fraqueza pré-existentes no talude; as discrepâncias eventualmente observadas nos ensaios de laboratório, devem-se basicamente à reorientação das partículas nesses planos, quando o solo era submetido a grandes deformações.
- Os processos alternados de expansão e adensamento, praticamente não interferem no comportamento dos massapês

ao serem atingidas pressões próximas às de pré-adensamento.

- Os massapês apresentam grande recuperação da estrutura quando submetidos a alívios de pressão, sendo este comportamento observado no laboratório nos ensaios de adensamento e visualmente no campo, com abertura das trincas e inchamento das faces dos taludes após as escavações, proporcionando aumento de volume e em consequência geração de succões elevadas no maciço, responsáveis pela estabilidade temporária desses taludes.

- A permeabilidade "in situ" dos materiais envolvidos nos deslizamentos dos taludes, varia para cada horizonte de intemperismo, sendo bastante influenciada pela presença de fissuras, trincas de retracção, fraturas, juntas, diaclases, falhas, veios de areias/siltos e de camadas de materiais argilosos preenchendo as descontinuidades.

- A cimentação das partículas dos folhelhos, reduz sensivelmente as propriedades expansivas da rocha e aumenta a resistência ao cisalhamento; o principal agente cimentante é o carbonato de cálcio e no caso específico dos folhelhos vermelhos da formação Aliança, o óxido de ferro.

- A variação de umidade do sub-solo devido a infiltração efetiva das águas das precipitações pluviométricas, é verificada numa espessura que varia normalmente de 2,0 a 3,0 m; as infiltrações ocorrem preferencialmente através

das trincas de retração; a frente de saturação não avança de forma uniforme para dentro do talude, provocando perdas de succão de forma diferenciada.

- Os massapês apresentam succões elevadas dentro da faixa de umidade normalmente encontrada no campo; as succões são bastantes influenciadas pelo elevado teor de argila e pela composição mineralógica desses solos.

- As condições geológicas complexas, as peculiaridades geotécnicas dos materiais expansivos no que se refere à expansão e redução drástica da resistência com o aumento da umidade, a influência dos perfis de intemperismo que condicionam as formas de ruptura e as pressões de água dentro do maciço, a topografia e o clima, são os principais aspectos que devem ser considerados no estudo dos mecanismos de instabilização e na análise de estabilidade dos taludes da Bacia Sedimentar do Recôncavo.

- Com base em diversos casos históricos retro-analisados e em inúmeros taludes inspecionados pelo autor, é proposto um sistema de classificação para os taludes da Bacia Sedimentar; este sistema é baseado fundamentalmente nos perfis de intemperismo dos taludes característicos de cada formação geológica e nos mecanismos de instabilização predominantes que neles se desenvolvem; o sistema de classificação consiste em dois Grupos, denominados Grupo S (Deslizamentos em Solos) e Grupo R (Deslizamentos em Rochas); no Grupo S foram definidos os Sub-Grupos S<sub>1</sub> a S<sub>6</sub> e no Grupo R os Sub-Grupos R<sub>1</sub> a R<sub>3</sub>.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>1</sub>, em camadas pouco espessas de massapê assentadas em horizontes mais permeáveis, são registrados comumente nas formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas, nos períodos de precipitações pluviométricas intensas, tendo o histórico das chuvas que antecedem as rupturas, grande influência na deflagração dos mecanismos de instabilização; as rupturas são devidas principalmente a perda de succão dos massapês insaturados.
- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>2</sub>, em camadas espessas de massapê com N.A. profundo, ocorrem basicamente na formação S. Sebastião, nos períodos de precipitações pluviométricas intensas, tendo o histórico das chuvas antecedentes influência nos mecanismos de instabilização; as rupturas são devidas principalmente a perda de succão dos massapês insaturados e a presença de trincas de tração no topo dos taludes.
- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>3</sub>, em camadas de massapê com N.A. pouco profundo, podem ocorrer em qualquer uma das formações expansivas da Bacia nos períodos de precipitações intensas e prolongadas; as rupturas são devidas às sub-pressões causadas pela elevação do N.A. do sub-solo.
- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>4</sub>, de camadas de colúvio assentadas em horizontes menos permeáveis, ocorrem principalmente nas encostas naturais das formações dos Grupos Santo Amaro e Ilhas; as rupturas são predominantemente planares e se dão ao longo da

superfície de contato entre os colúvios e os horizontes menos permeáveis subjacentes; são geradas forças de percolação, com direção paralela à superfície de contato, devido as redes de fluxo que se formam durante precipitações pluviométricas excepcionais; o histórico das chuvas antecedentes exerce certa influência devido as características da matriz argilosa dos colúvios.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>5</sub>, de camadas de solo granular assentadas em horizontes menos permeáveis, ocorrem com maior frequência na formação S. Sebastião, embora sejam encontrados casos também importantes, nas demais formações expansivas; as rupturas são basicamente planares e ocorrem ao longo da superfície de contato entre os solos granulares e os horizontes menos permeáveis subjacentes; as rupturas são devidas às forças de percolação que se desenvolvem com direção paralela à superfície de contato, devido à formação de redes de fluxo durante as precipitações pluviométricas intensas e de longa duração; as chuvas antecedentes praticamente não exercem influência devido a elevada permeabilidade e a evaporação rápida da água através dos materiais granulares.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo S<sub>6</sub>, em maciços constituídos de solos granulares com intercalações de camadas de massapê, ocorrem basicamente na formação S. Sebastião; a forma da superfície de ruptura depende da disposição das estratificações dentro do maciço, geralmente verificando-se componente rotacional

significativa; durante as precipitações pluviométricas intensas formam-se temporariamente lençóis d'água suspensos dentro das camadas de materiais granulares sobrejacentes às camadas de argila siltosa de baixa permeabilidade, gerando redes de fluxo em vários níveis no interior do talude, com direção paralela às respectivas superfícies de contato.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo R<sub>1</sub>, de taludes estruturados em rochas, não são muito frequentes, os casos registrados na Bacia pertencem às formações expansivas dos Grupos Brotas, Santo Amaro e Ilhas; as rupturas estão geralmente condicionadas a um padrão estrutural desfavorável, a períodos de chuvas intensas e principalmente à intervenção antrópica; as infiltrações de água podem provocar a elevação do N.A. estático dentro do maciço ou o preenchimento das fraturas, gerando pressões hidrostáticas sobre as cunhas críticas; as chuvas antecedentes praticamente não influenciam os mecanismos de instabilização.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo R<sub>2</sub>, dos horizontes de transição assentados em horizontes menos permeáveis, ocorrem principalmente na formação Aliança do Grupo Brotas, aonde se desenvolvem horizontes IC e II bastante espessos; na face dos taludes as rupturas geralmente são planares e no topo, devido geralmente ao desenvolvimento de zonas espessas intensamente fraturadas, podem assumir formas circulares; os deslizamentos ocorrem nos períodos de chuvas intensas pela formação temporária de redes de

percolação de água dentro dos horizontes de transição, com direção paralela à superfície de contato, representada quase sempre pelo horizonte III, menos permeável.

- Os deslizamentos do Sub-Grupo R<sub>3</sub>, se referem às movimentações dos materiais desagregados e as quedas de lajes de arenito e siltito; o fenômeno do "empastilhamento" ocorre superficialmente nos taludes constituídos de rochas argilosas, devido aos ciclos de expansão e retração causados pela ação das intempéries; a erosão diferencial verificada na face dos taludes, que apresentam intercalações de veios de rocha mais resistente (arenito e siltito), provoca o descalçamento e consequentemente quedas de blocos e lajes dessas rochas.

## SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- . Instrumentar taludes naturais em massapês para medir "in situ", ao longo do tempo, a variação da succção à várias profundidades; utilizar essas curvas características nas análises computacionais de estabilidade de taludes.
- . Observar o comportamento de taludes naturais constituídos de perfis típicos de intemperismo de folhelhos, com presença de mantos de colúvios, em condições críticas de estabilidade, através da instalação de inclinômetros, piezômetros e marcos superficiais.
- . Desenvolver ensaios de cisalhamento direto "in situ" de grandes dimensões, para determinação da resistência ao longo dos planos de fraqueza pré-existentes nos taludes; utilizar esses parâmetros nas análises, comparando com os parâmetros obtidos em laboratório e nas retro-análises.
- . Fazer estudos comparativos das resistências residuais dos massapês, obtidas em laboratório através de diferentes ensaios (triaxial, cisalhamento direto reversível, plano cortado e ring shear).
- . Desenvolver ensaios em laboratório para medição do parâmetro  $\theta^b$ .
- . Estudar em laboratório o efeito do tamanho das amostras na resistência ao cisalhamento dos massapês.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLÍCUDAS NO TEXTO DA IESE

- BARKER, D.H. (1986), "Enhancement of slope stability by vegetation", *Ground Engineering*, April, pp.11-15.
- BISHOP, A.W (1966), "The strength of soils as engineering materials", *Géotechnique*, Vol. 16, Nº 2, pp. 91-128
- BRAND, E.W. (1981), "Some thoughts on rain-induced slope failures". ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp.373-376.
- CAMPOS, L.E.P. (1984), "Influência da succão na estabilidade de taludes naturais em solos residuais", Tese Mestrado, PUC/RJ, 169 pp.
- COOLING, E. J (1976), "Shear strength on bedding and foliation surfaces", *Rock Engineering for Foundation and Slope*, ASCE, New York, pp. 172 - 192.
- COSTA FILHO, L.M. (1984), "A note on the influence of fissures on the deformation characteristics of London clay", *Géotechnique*, Vol. XXXIV, Nº 2, June, pp.268-272.
- COSTA NUNES, J.A et alii (1983), "Landslides due to intense tropical rainfall in Brazil", VII Pan. Conf. in Soil and Eng. Foundation, Vancouver, Vol. 1, pp.291-304.
- DEERE, D.U. e PATTON, F.D. (1971), "Slope stability in residual soils", Fourth Panamerican Conference, Puerto Rico, pp.87-170.
- DOBEREINER, L. et alii (1990), "Processos de alteração em rochas argilosas de algumas formações brasileiras ", 6º CBGE/IX COBRAMSEF, Salvador, pp.145 - 162.
- DUNCAN, N. e PETTY, S. (1968), "Swelling characteristics of rock", *Water Power*, May, pp.185 - 192.
- ESCARIO, V. (1980), "Suction controlled penetration and shear tests", IV Int. Conf. on Expansive Soil, Vol. 2, pp. 781-797.
- FREIDLUND, D.G. (1981), "The shear strength of unsaturated soil and its relationship to slope stability problems in Hong Kong", *Hong Kong Engineer*, April, pp.37-45.

- FREDLUND, D. G. (1988), "PC - Slope - A comprehensive program for slope stability analysis", Alberta, Canada.
- FREDLUND, D.G., et alii (1978), "The shear strength of unsaturated soils", Canadian Geotech. J., Vol. 15, pp.313-321.
- GUIDICINI, G. e IWASA, O.Y. (1976), "Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido", Instituto de Pesquisas Tecnológicas-SP, Publicação Nº1080, pp.1-48.
- GUIMARÃES, R.B. (1984), "Failure slope in clay shales in Aratu Bay - Brazil", Int. Conf. on Case Histories in Geot. Eng., Vol. II, pp.1-6.
- HEAD, K.H (1986), "Soil laboratory testing", Vol.3, ELE International Limited, London, pp. 1062-1064.
- HOEK, E. (1987), "Analytical and computational methods in engineering rock mechanics", E.T. Brown, Ed. Allen and Unwinn, pp 95-118.
- INDA, H.A.V. (1979), "Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos, CPM - SME, BAHIA, Vol. 1, pp. 51-67.
- JANBU, N (1989) "Slope failures due to rainfall and loss of suction", Victor de Mello Volume, pp. 205-216.
- LACERDA, W.A. e SANDRONI, S.S. (1985), "Movimentos de massas coluviais", Mesa redonda - Aspectos Geotécnicos de Encostas, ABMS/ASCE/Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, Maio, pp.III-1/19.
- LEAL, G.R.N.(1988), "Aspectos geológicos sobre a implantação da Adutora Pedra do Cavalo", Relatório Interno do CEPEDE, não publicado.
- MORGENSTERN ,N.R. e EIGENBROD ,K.D.(1974), "Classification of argillaceous soils and rocks", Journal of the Geotechnical Engineering Division, V.100, GT10, pp. 1137-1155.
- MORGENSTERN, N.R. e MATOS, M.M. (1975), "Stability of slopes in residual soils", 5th PCSMFE, Buenos Aires, Proceedings, pp. 367-383.
- PATTON, F.D. (1966), "Multiple modes of shear failure in rocks and related materials", Thesis Ph.D, University of Illinois, 282 pp.
- FECK, R.B. (1967), "Stability of natural slopes", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the ASCE, 93,SM4, pp. 403-417.

- POUSADA PRESA, E. (1982), "Deformabilidad de las argillas expansivas bajo suction controlada", Tesis Doctoral, Madrid, Universidade Politécnica, 663 pp.
- PRANDINI, L. et alii (1977), "Behavior of vegetation in slope stability: a critical review", Bulletin of the International Association of Engineering Geology, pp. 51-55.
- RIBEIRO, J.C. (1984), "Prospectos estratigráficos do Recôncavo", Petrobrás, DEPEX-DEXBA, Rel. Interno N° 1776.
- SARMA, S.K (1979), "Stability analysis of embankments and slopes", J. ASCE, V. 105, GT5, pp. 1511 - 1524.
- SEED, H.B., WOODWARD, R.J. e LUNDGREEN, R. (1962), "Prediction of swelling potential for compacted clays", J. ASCE, V.88.
- SIMÕES, P.R.M. (1977), "Propriedades expansivas dos massapês compactados", Tese Mestrado, PUC/RJ, 119 pp.
- SIMÕES, P.R.M. (1986a), "Aspectos relevantes sobre a implantação de obras de engenharia em solos e rochas expansivas", X COBRAMSEF, Porto Alegre, pp.213-236.
- SIMÕES, P.R.M. (1986b), "Características expansivas dos folhelhos ocorrentes na Bacia Sedimentar do Recôncavo Baiano", II Simpósio Sulamericano de Mecânica das Rochas, Porto Alegre, pp.69-83.
- SIMÕES, P.R.M. e COSTA FILHO, L.M. (1981), "Características mineralógicas, químicas e geotécnicas dos solos expansivos do Recôncavo Baiano", Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, R.J., pp.569-588.
- SKEMPTON, A.W. e HUTCHINSON, J. (1969), "Stability of natural slopes and embankment foundations", 7th ICSMEF, Zurich, State of the Art, pp.291-339.
- SKEMPTON, A.W. e PETLEY, D.J. (1967), "The strength along structural discontinuities in stiff clays", Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo, Vol. 2, pp.29-46.
- SOBRAL, H.S. (1956), "Contribuição ao estudo dos massapês como solos para construção", Tese para Cátedra de Materiais de Construção na Escola de Belas Artes da UFBA.

- SOUZA SANTOS, P. e SANTINI, P. (1965), "Ocorrencias de argilas montmoriloníticas no Brasil", Ceramica, S.Paulo, 11 (44), pp. 36-64.
- VAN DER MERWE, D.H. (1964), "The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction", The Civil Engineering in South Africa, Vol. 6.
- VARGAS, M. (1971), "Discussion IV Panamerican Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering", pp. 135-143.
- VAUGHAN, P.R. e WALBANCKE, H.J. (1973), "Pore pressure changes and the delayed failure of cutting slopes in overconsolidated clay", Géotechnique, Vol. 23, №4, pp.531-539.
- VIANA,C.F. et alii (1971), "Revisão estratigráfica da Bacia do Recôncavo/Tucano", Boletim Técnico Petrobrás, №14, pp.157-192.
- WOLLE, C.M (1980), "Taludes naturais - Mecanismos de instabilização e critérios de segurança", Tese Mestrado, USP. S. Paulo
- WOLLE, C.M. (1988), "Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra da Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas", Tese de Doutorado, USP, S. Paulo
- WU, T.H., et alii (1987), "Stability of slopes in red conemaugh shale of Ohio", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, № 3, March, ASCE, pp.248-264.

---

#### CONSULTARIAS

- AAS, G. (1981), "Stability of natural slopes in quick clays", ICSMEF, Vol.III, Stokholm, pp. 333-338.
- ACEVEDO, P.M. et alii (1981), "A methodology for regressive analysis", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, PP.339-341.

- AIRES-BARROS, L. et alii (1975), "Dry and wet laboratory tests and thermal fatigue of rocks", *Engineering Geology*, 9, pp.249-265.
- ALVARENGA, M.M. e CARMO, J.C. do (1976), "Alguns Problemas de estabilidade de taludes de corte em materiais residuais de rocha gnáissica", 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGA, Vol.1 - pp.117-129.
- ANDERSON, M.G. et alii (1982), "The influence of shrinkage cracks on pore-water pressures within a clay embankment", *Q.J. eng. Geol. London*, Vol. 15, pp.9-14.
- ANDERSON, M.G., McNICHOLL, D.P. e SHEN, J.M. (1983), "On the effect of topography in controlling soil water conditions, with specific regard to cut slope piezometric levels", *Hong Kong Engineer*, November, Vol.ii, pp.35-41.
- ARULANANDAN, K. et alii (1971), "Undrained creep behaviour of a coastal organic silty clay", *Géotechnique*, Vol. 21, Nº 4, pp.359-375.
- AZZOUZ, A.S. et alii (1981), "Threedimensional stability analysis of four embankments failures", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp.343-346.
- BADGER, C.W. et alii (1956), "The disintegration of shales in water", *Journal of the Institute of Fuel*, Vol.29, October, pp. 417-423.
- BADILLO, E.J. et alii (1981), "Some remarks on slope stability analysis methods", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 443-447.
- BARACOS, A. e GRAHAM, J. (1981), "Landslide problems in Winnipeg", *Can. Geotech. J.* Vol. 18, pp.390-419.
- BARATA, F.E. (1969), "Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro", International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7, Mexico, Proceedings, pp.507-516.
- BARATA, F.E. e DANZIGER, F.A.B. (1981), "Design of slopes in residual soils by an allowable-strain method", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp.347-351.
- BARTON, M.E. (1977), "Landsliding along bedding planes", *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, Vol.16, pp.5-7.
- BARTON, N.R. (1971a), "Estimation of in situ shear strength from back analysis of failed rock slopes", Proc. Int. Symp. Rock Fracture, Nancy, France, Paper CI-27, pp.1-14.

- BARTON, N.R.(1971b). "A relationship between joint roughness and joint shear strength", Symposium Soc. Internat. Mécanique des Roches, Nancy, pp.18-20.
- BAZETT,D.J., ADAMS, J.I. e MATYAS, E.L. (1961), "An investigation of slide in a test trench excavated in fissured sensitive marine clay", International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 431-435.
- BECKETT,P.J. et alii (1958), "Interfacial properties of coal-measure shales in water". Proc. Conf. on Science in the Use of Coal, Sheffield University, Vol.12. pp.B14-B19.
- BERKOVITCH, I. et alii (1959), "The shale breakdown problem in coal washing: Part 1. - Assessing the breakdown of shales in water", J. Inst. Fuel, Vol. 32, december, pp.579-589.
- BERNARDER, S. e OLOFSSON, I. (1981), "On formation of progressive failures in slopes", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp.357-362.
- BERNTSON, J. e LINDH, B.G. (1981), "The Tuve landslide - A photo documentation", ICSMEF, Vol.III, Stokholm, pp.363-366.
- BIDDLE, F.G. (1983), "Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils", Géotechnique, 33 (2), pp.107-126.
- BINGER, W.V. (1984), "Analytical studies of Panama Canal slides". Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering,Rotterdam, Vol.2, pp. 54-61.
- BISHOP, A.W. (1967), "Progressive failure - with special reference to the mechanism causing it", Proc. Geotech. Conf., Oslo, pp.142-150.
- BISHOP, A.W. (1971) "The influence of progressive failure on the choice of the method of stability analysis", Géotechnique, Vol. XXI, Nq 2, June, pp.168-172.
- BJERRUM, L. (1967), "Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay and clay shales", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 93, Nq SM5, September, pp.3-49.
- BROCH, E. (1979), "Changes in rock strength caused by water", 4th Int. Cong. on Rock Mechanics, Montreux, Suisse, Vol. 1, pp.71-75.

- BROMHEAD, E.N. e CURTIS, R.D. (1983), "A comparison of alternative methods of measuring the residual strength of London clay", *Ground Engineering*, Vol. 16, pp.39-41.
- BROOKER, E.W. (1967), "Strain energy and behaviour of overconsolidated soils", *Can. Geotech. J.*, Vol. IV, No 3, Sept., pp.326-333.
- BURLAND, J.B. et alii (1977), "A study of ground movement and progressive failure caused by a deep excavation in Oxford clay", *Géotechnique*, Vol. 27, No 4, pp.556-591.
- CAINE, N. (1980), "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows", *Geografiska Annaler*, Vol. 62A, Part 1-2, pp.23-27.
- CANCELLI, A. (1981), "EVolution of slopes in overconsolidated clays", ICSMEF, Vol. III, Stockholm, pp.377-380.
- CASAGRANDE, A. e WILSON, S.D. (1950/51), "Effect of rate of loading on the strength of clays and shales at constant water content", *Géotechnique*, V.2, pp. 251-263.
- CHANDLER, R.J. (1966), "The measurement of residual strength in triaxial compression", *Géotechnique*, Vol. 16, No 3, September, pp.181-186.
- CHANDLER, R.J. (1969), "The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper marl", *Géotechnique*, Vol. 19, No 3, pp.321-334.
- CHANDLER, R.J. (1972). "Lias clay: weathering processes and their effect on shear strength", *Géotechnique*, Vol. 22, No 3, pp. 403-431.
- CHANDLER, R.J. (1974) - "Lias clay: the long-term stability of cutting slopes". *Géotechnique*, Vol.24, No 1, pp.21-38.
- CHANDLER, R.J. (1977), "Back analysis techniques for slope stabilization works: a case record", *Géotechnique* 27, No 4, pp.479-495.
- CHANDLER, R.J. (1979), "Stability of a structure constructed in a landslide: selection of soil strength parameters", *Design Parameters in Geotechnical Engineering*, BGS, London, Vol. 3, pp.175-182.
- CHANDLER, R.J. e SKEMPTON, A.W. (1975), "The design of permanent cutting slopes in stiff fissured clays", *Géotechnique*, Vol. 25, No 2, June, pp.425-427.

- CHARLES, J.A. e SOARES, M.M. (1984). "The stability of slopes in soils with nonlinear failure envelopes", Can. Geotech. J., Vol. 21, pp. 397-406.
- CHENEVERT, M.E. (1970), "Adsorptive pore pressures of argillaceous rocks", Rock Mechanics Theory and Practice, Proc. 11th Symp. AIME, pp. 599-627.
- CHIFF, P.N. et alii (1982), "Field measurement of suction in colluvium covered slopes in Hong Kong", Proceedings 7th Asian Geotechnical Conference, November, Hong Kong, pp. 49-62.
- CHOWDHURY, R.N. et alii (1970), "Slopes in stiff-fissured clays and shales", January, SMI, pp. 336-339.
- CHRISTIAN, J.T. e WHITMAN, R.V. (1969), "A one-dimensional model for progressive failure", 7th ICSMEF, Mexico, Vol. 2, pp. 541-545.
- CHRISTIANSEN, E.A. (1983), "The Denholm landslide, Saskatchewan. Part I: Geology". Can. Geotech. J., Vol. 20, pp. 197-207.
- CHUCH, A.K. - (1983) - "Slope stability analysis of riverbanks", Can. Geotech. J. Vol. 20, pp. 335-352.
- CONSTATINESCU et alii (1979), "Analysis of a progressive failure in Pannonian clay", Design Parameters in Geotechnical Engineering, BGS, London, Vol. 3, pp. 189-192.
- COSTA NUNES, A.J. (1966), "Estabilidade dos taludes em rocha", Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 3, Vol. 2, pp. 133-156.
- COSTA NUNES, A.J. (1969), "Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms", International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings, México, pp. 547-554.
- COSTA NUNES, A.J. (1979), "Foundation on expansive rocks in Brazil", ICSMFE, Montreaux, Suisse, Vol. 1, pp. 99-195.
- COSTA NUNES, A.J. e FERREIRA, M.S. (1971), Panorama dos problemas de encostas em estradas", Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, 3, Vol. 4, pp. 7-7.22.
- COWLAND, J.W. e RICHARDS, L.R. (1985), "Transient groundwater rises in sheeting joints in a Hong Kong granite slope", Hong Kong Engineer, February, Vol. 13, pp. 27-32.

- CRUDEN, D.M. (1980), "The anatomy of landslides", Canadian Geotech. J., Vol. 17, pp.295-300.
- CRUZ, P.T. da (1989), "Solos residuais: algumas hipóteses de formulações teóricas de comportamento", Simpósio sobre Solos Colapsíveis e Expansivos - CODEVASF - Brasília, pp.79-111.
- CULLEN, R.M. e DONALD, J.B. (1971), "Residual strength determination in direct shear", Proc. First Australia - New Zealand Conf. on Geomechanics, pp.1-10.
- CURTIS, C.D. (1980), "Diagenetic alteration in black shales", J. Geol. Soc. London, Vol. 137, pp. 189-194.
- D'APPOLONIA, E. e D'APPOLONIA, D.J. (1967), "Behavior of a colluvial slope", Proc. ASCE, J. Soil Mechanics and Foundations Div., Vol. 93, pp.447-473.
- DE BEER, E. e GOELEN, E. (1977), "Stability problems of slopes in overconsolidated clays", 9th ICSMEF, Tokyo, Vol.2, pp.31-39.
- DÉCOURT, L. (1977), "Stability of slopes in residual soils", 9th ICSMEF, Tokio, Vol.2, pp.41-42.
- DEEN, R.C. (1981), "The need for a schema for the classification of transitional (shale) materials", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 4, Nº 1, March, pp.3-10.
- DELGADO RODRIGUES, J. (1977), "Weatherability forecast for natural rock materials", Geotecnia, Nº 20, Lisboa, pp.53-67.
- DUNCAN, J.M. e DUNLOP, P. (1969), "Slopes in stiff-fissured clays and shales", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 95, Nº SM2, March, pp. 467-481.
- DUNCAN, J.M. e SEED, H. (1966b), "Strength variation along failure surfaces in clay", JSMFE-ASCE, November, pp.81-104.
- DUNLOP, P. e DUCAN, J.M. (1970), "Development of failure around excavated slopes", JSMFD-ASCE, pp.471-493.
- EDEN, W.J. (1977), "Evidence of creep in steep natural slopes of Champlain sea clay", Can. Geotech. J., Vol. 14, pp. 620-627.
- EDEN, W.J. e MITCHELL, R.J. (1970), "The mechanics of landslides in Leda clay", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 7, Nº 3, pp. 285-296.

- EIGENBROD, K.D. (1975), "Analysis of the pore pressure changes following the excavation of a slope", Can. Geotech. J., Vol. 12, pp. 429-440.
- ESU, F. e CALABRESI, G. (1969), "Slope stability in an overconsolidated clay". Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundations Eng., Mexico, Vol. 2, pp. 555-563.
- FERNANDES, C.E.M. et alii (1974), "Rockfall problems in sedimentary rocks along the BR 116 Highway at the Serra do Espigão, Santa Catarina, Brazil", 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology, pp. V5.1- V5.8.
- FOOKES, P.G. e DENNESS, B. (1969), "Observational studies on fissure patterns in cretaceous sediments of south-east England", Géotechnique, Vol. 19, N° 4, pp. 453-477.
- FORSTER, W. (1979), "Estimations of stability of slopes in overconsolidated soils with progressive failure", VII ICSMFE, Brighton, England, pp. 159-164.
- FREDLUND, D.G. (1979), "Appropriate concepts and technology for unsaturated soils", Can Geotech. J., Vol. 16, pp. 121-139.
- FREDLUND, D.G. (1980), "Remarks on the validity of stability analyses: Discussion", Can. Geotech. J., Vol. 17, pp. 641-642.
- FREDLUND, D.G. e KRAHN, J. (1976), "Comparison of slope stability methods of analysis", Canadian Geotechnical Conference, 29, Vancouver, British Columbia, pp. (VIII) 56-74.
- FREDLUND, D.G., KRAHN, J. e PUFAHL, D.E. (1981), "The relationship between limit equilibrium slope stability methods", ICSMEF, V. III, Stokholm, pp. 409-416.
- GRAY, D.H. (1969), "Effects of forest clear cutting on the stability of natural slopes", Seattle, Slope Indicator Co., 67p. il. Progress report, Sept.
- GUIMARÃES, R.B. (1978), "Contenção de taludes através de muros de terra", Revista Solos e Rocha, Vol. 1, N° 1, Janeiro, pp. 107-125.
- HAMROL, A. (1961), "A quantitative classification of the weathering and weatherability of rocks", Proc. 5th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 771-774.
- HANSEN, J.B. (1966), "Comparison of methods for stability analysis", Danish Geotechnical Institute, Bulletin 21, pp. 5-9.

- HAWKINS, A.B. (1973), "The geology and slopes of the Bristol region", Q.Ji. Engng. Vol. 6, pp.185-205.
- HAWKINS, A.B. e PRIVETT, K.D. (1985), "Measurement and use of residual shear strength of cohesive soils", Ground Engineering, pp.22-29.
- HENCHER, S.R. e RICHARDS, L.R. (1989), "Laboratory direct shear testing of rock discontinuities", Ground Engineering, March, pp.24-31.
- HENKE, K.F. e GERMANY, F.R. (1974), "Stabilization of landslides in weathered clay-shale using pretensioned grouted anchors", 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology, São Paulo, Vol. 2, Brazil, pp. V-9.1/V-9.8.
- HENKEL, D.J. (1967), "Local geology and the stability of natural slopes", Proc. ASCE, J. Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 4, N° SM4, July, pp.437-447.
- HENKEL, K.F. e YUDHBIR (1966), "The stability of slopes in the Siwalik rocks in India", Proc. 1st Int. Congr. Rock Mech. (Lisboa), Vol. 2, pp. 161-165.
- HODGE, R.A.L. e FREEZE, R.A. (1977), "Groundwater flow systems and slope stability", Can. Geotech. J., Vol.14, pp. 466-476.
- HOEK, E. (1970), "Influence of rock structure in the stability of rock slopes", Proc. Symposium on Stability of Open Pit Mining, Chapter 4, pp.49-63.
- HOEK, E. et alii (1973), "The stability of a rock slope containing a wedge resting on two intersecting discontinuities", Q.Ngí.Eng.GeoL., Vol. 6, pp.1-55.
- HUNTER, J.H. e SCHUSTER, R.L. (1968), "Stability of simple cuttings in normally consolidated clays", Géotechnique, 18, pp. 372-378.
- HUTCHINSON, J.N. (1967), "The free degradation of London clay cliffs", Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo, Proceedings, Vol. 1, pp.113-118.
- HUTCHINSON, J.N. (1983), "Methods of locating slip surfaces in landslides", Bull Assoc. Eng. GeoL., Vol.3, pp.235-252.
- IMAIZUMI, H., KOSHIMA, A., LOZANO, M.H. e PACHECO, I.B. (1981), "Critérios e análises de estabilidade dos taludes de escavação no arenito Bauru", Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, Itapema, ABGE, Vol. 3, pp.143-154.

- JANBU, N. et alii (1977), "Slide in overconsolidated clay below embankment", 9th ICSMEF, Tokyo, Vol. 2, pp. 95-102.
- JENNINGS, J.E., (1969) "The Stability of slopes cut into natural rock", 7th. ICSMEF, México, Vol. 2, pp. 585-590.
- JOHN, B.J. et alii (1969), "Slickensides in residual soils and their engineering significance", Proc. of 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., México, Vol. 2, pp. 591-597.
- JOHN, K.W. (1968), "Graphical stability analysis of slopes in jointed rock", Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, No SM2, March, pp. 497-526.
- KATTI, R.K. (1987), "Cohesion approach to mechanics of saturated expansive soils media", 6th International Conference on Expansive Soils, December, New Delhi, India, pp. 13-53.
- KENNARD, M.F., KNILL, J.L. e VAUGHAN, P.R. (1967), "The geotechnical properties and behaviour of carboniferous shale at the Balderhead Dam", Q.J. Engng. Geol., Vol. 1, pp. 2-24.
- KENNEY, T.C. e LAU, K.C. (1984), "Temporal changes of groundwater pressure in a natural slope of nonfissured clay", Can. Geotech. J., Vol. 20, pp. 138-146.
- KENNEY, T.C. e UDDIN, S. (1974), "Critical period for stability of an excavated slope in clay soil", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, pp. 620-623.
- KLEPPE, J.H. e DENBY, G.M. (1984), "Design and performance of horizontal drains", Int. Conf. on Case Histories in Geol. Eng., Vol. II, pp. 593-598.
- KOSHIMA, A. et alii (1981), "Geotechnical properties of the Bauru sandstone, São Paulo, Brazil", Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, September, pp. 303-308.
- KUTTER, H.K. e RAUTENBERG, A. (1979), "The residual shear strength of filled joints in rock", Proc. 4th Int. Conf. on Rock Mechanics, Vol. 1, Montreaux, pp. 221-227.
- LACERDA, W.A. (1966), "A estabilização de um aterro a meia encosta", Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Vol. 1, pp. VI-1/31.

- LAJTAI, E.Z. (1969), "Strength of discontinuous rocks in direct shear", *Géotechnique*, Vol. 19, № 2, pp. 218-233.
- LAMBE, W. (1960), "A mechanistic picture of shear strength in clay", Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE Research , Boulder. Proceedings, pp. 555-580.
- LA ROCHELLE, P. e MARSAL, R.J. (1981), "Slope stability - General Report", ICSMEF, Stokholm, Vol. IV, pp. 485-507.
- LAU, K.C. e KENNEY, T.C. (1984), "Horizontal drains to stabilize clay slopes", *Can. Geotech. J.*, Vol. 21, pp. 241-249.
- LAW, K.T. e LUMB, P. (1976), "A limit equilibrium analysis of progressive failure in the stability of slopes", 29th Canadian Geotechnical Conference, Vancouver, B.C., October, Vol. 15, pp. 113-122.
- LO, K.Y. (1970), "The operational strength of fissured clays", *Géotechnique* 20, № 1, pp. 57-74.
- LO, K.Y. (1972), "An approach to the problem of progressive failure", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9, pp. 407-429.
- LOPES, J.A.U. (1981), "Algumas considerações sobre a estabilidade de taludes em solos residuais e rochas sedimentares sub-horizontais", Congresso de Geologia de Engenharia, ABGE, Itapema, pp. 167-186.
- LUMB, P. (1965), "The residual soils of Hong Kong", *Géotechnique*, Vol. 15, pp. 180-194.
- LUMB, P. (1975), "Slope failures in Hong Kong", *Q. J. Engng. Geol.*, Vol. 8, pp. 31-65.
- LUPINI, J.F., et alii (1981), "The drained residual strength of cohesive soils", *Géotechnique*, Vol. 31, № 2, pp. 181-213.
- MATOS, W.D. et alii (1978), "Aspectos geotécnicos do folhelho Irati no local da Barragem Couto de Magalhães, Alto Rio Araguaia, Brasil", *Solos e Rochas*, Vol. 1, № 1, Janeiro, pp. 3-85.
- MESRI, G. e CEPEDA-DIAZ, A.F. (1986), "Residual shear strength of clays and shales". *Géotechnique*, Vol. XXXVI, № 2, June, pp. 269-274.
- MESRI, G. e CEPEDA-DIAZ A.F. (1987), "Permeability of shales", VIII CPMSIF-PCSMFE, Agosto, Cartagena, Colombia, pp. 89-100.

- MITCHELL, R.J. e WILLIAMS, D.R. (1981), "Induced failure of an instrumented clay slope", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 479-484.
- MORGENSTERN, N.R. (1970), "The influence of groundwater on stability", Proc. 1st Symposium on Stability of Open Pit Mining, Chapter 5, pp. 65-81.
- MORGENSTERN, N.R. (1977), "Slopes and excavations", 9th ICSNEF, Vol. 3, Tokyo, pp. 401-432.
- MORGENSTERN, N.R. et alii (1977), "Slopes and excavations", 9th ICSMEF, Tokyo, Vol. 2, pp. 547-604.
- MORGENSTERN, N.R. e TCHALENKO, J.S. (1967), "Microstructural observations on shear zones from slips in natural clays", Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo, Proceedings, Vol. 1, pp. 147-152.
- NAGARKAR, P.K., KULKARNI, R.P. et alii (1981), "Failures of a monozone earth dam of expansive clay", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 491-494.
- NASSIF, S.H. e WILSON, E.M. (1975), "The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration", Hydrological Sciences Bulletin des Sciences Hydrologiques, XX, pp. 539-553.
- NGUYEN, V.U. (1984), "Back calculations of slope failures by the secant method", Géotechnique, Vol. XXXIV, Vol. 3, September, pp. 423-427.
- NGUYEN, V.U. (1985), "Determination of critical slope failure surfaces", ASCE, Vol. 111, No. 2, pp. 238-250.
- NOGAMI, J.S. (1974), "As limitações do procedimento usual de reconhecimento de solos ao longo de rodovias", Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 5., São Paulo, Anais, pp. 66-69.
- NOVEILLER, E. (1981), "Efficiency of horizontal drains on slope stability", X ICSMEF, Stokholm, Vol. III, pp. 495-500.
- ONODERA, T., YOSHINAKA, R. e KAZAMA, H. (1974), "Slope failures caused by heavy rainfall in Japan", 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology, São Paulo, Brazil, Vol. 2, pp. V-11.1/10.
- ORTIGÃO, J.A.R. e LACERDA, W.A. (1983), "Embankment failure on clay near Rio de Janeiro", Journal Geotechnical Engineering, Vol. 109, No. 11, November, ASCE, pp. 1460-1486.

- OSAIMI, A.E., e CLOUGH, G.W. (1979), "Fore-pressure dissipation during excavation", Jnl. Geotech. Engng. Div., ASCE, April, GT4, pp. 481-498.
- FALLADINO, D.J. e PECK, R.B. (1972), "Slope failures in an overconsolidated clay", Seattle, Washington, Géotechnique 22, № 4, pp. 563-595.
- PAFADOPoulos, B.P. e ANAGNOSTOPOULOS, A.G. (1981), "Factors affecting the stability of slopes", ICSMEF, Vol. III, Stockholm, pp. 501-504.
- PATTON, F.D. e HENDRON JÚNIOR, A.J. (1974), "General report on mass movements", International Congress of the International Association of Engineering Geology, 2., São Paulo, Proceedings, São Paulo, ABGE, pp. V-GR.1-57.
- PETER, G.F. e DENE, W.D., (1966), "The geometry of discontinuities and slope failures in Siwalik clay", Géotechnique, Vol. 16, N1674, pp. 305-328.
- PETERSON, R. (1954), "Studies of the Bearpaw shale at a damsite in Saskatchewan", Proceedings of the American Society Civil Engineering, Vol. 80, pp. 476.1-476.28.
- PITEAU, D.R. (1971), "Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock", Proc. Symposium on Planning Open Pites RT Mines, pp. 33-53.
- PUFAHL, D.E., FREDLUND, D.G. e RAHARDJO, H. (1983), "Lateral earth pressures in expansive clay soils", Can. Geotech. J., Vol. 20, pp. 228-241.
- RAMASAMY, G. et alii (1984), "Stability of slopes - A case history", Int. Conf. on Case Histories, Geot. Eng., Vol. II, pp. 619-624.
- RAO, K.S.S. e SATYADAS, G.C. (1985), "Measurement of Volumetric and linear shrinkage on black cotton soil", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 8, № 2, June, pp. 66-70.
- RICHARDS, B.G. et alii (1983), "The effects of vegetation on the swelling and shrinking of soils in Australia", Géotechnique, 33 (2), pp. 127-139.
- ROBERTSON, A.M.G. (1971), "The interpretation of geological factors for use in slope theory", Proc. Symposium on Planning Open Pit Mines, pp. 55-71.
- ROGER, N.W. e SELBY, M.J. (1980), "Mechanisms of shallow translational landsliding during summer rainstorms: North Island, New Zealand", Geografiska Annaler, 62A, pp. 11-21.

- ROMANI, F. et alii (1972), "Influence of progressive failure on slope stability", JSMFE, ASCE, Vol. 98, N<sup>o</sup> SM11, November, pp.1209-1223.
- RUNESSON, K. (1981), "On the behaviour of natural slopes in clay", ICSMFE, Vol. III, Stokholm, pp.509-514.
- SAITO,M (1965), "Forecasting the time of occurrence of a slope failure", ICSMFE, Proceedings, Montreal, pp.537-541.
- SANCIO, R.T. e GOODMAN, R.E. (1979), "Analysis of the stability of slopes in weathered rocks", 4th Int. Congress on Rock Mechanics, Montreaux, Suisse, Vol. 1, pp.723-730.
- SANTOS, A.R. (1971), "Desagregação superficial em taludes de corte nos argilitos e siltitos da formação Estrada Nova", V Congr. Bras. Mecânica dos Solos , Vol.1, São Paulo, pp. 351-356.
- SANTOS, A.R. (1974), "A geologia nos projetos de estabilização de taludes", Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 5., Outubro, São Paulo, pp.383-404.
- SASSA, K. (1985), "The geotechnical classification of landslides", Proc. 5th International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo, pp.31-40.
- SAUNDERS, M.K. e FOOKES, P.G. (1970), "A review of the relationship of rock weathering and climate and its significance to foundation engineering", Eng. Geol., Vol. 4, pp.289-325.
- SHARP, J.C. et alii (1972), "Influence of groundwater on the stability of rock masses: 1 - hydraulics within rock masses", Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 81, 782, pp-A-13-20.
- SHARP, J.C., HOEK, E. e BRAWNER, C.O. (1972), "Influence of groundwater on the stability of rock masses: 2 - drainage systems for increasing the stability of slopes", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Vol. 81, pp. A-113/120.
- SHAW, H.F. (1981), "Mineralogy and petrology of the argillaceous sedimentary rocks of the U.K.", Q.J.Eng. Geol. London, Vol. 14, pp.277-290.
- SKEMPTON, A.W. (1948), "The  $\theta = \theta$  analysis of stability and its theoretical basis", 2nd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam, Vol. 1, pp.72-78.

- SKEMPTON, A.W. (1953), "Soil mechanics in relation to geology", Proceedings of the Yorkshire Geological Society, Vol. 29, Part 1, № 3, April, pp.33-62.
- SKEMPTON, A.W. (1964), "Long-term stability of clay slopes", Géotechnique, Vol. 14, № 2, pp. 77-101.
- SKEMPTON, A.W. (1966), "Bedding-plane slip, residual strength and the Vajont landslide", Géotechnique, Vol. XVI, № 1, March, pp.82-84.
- SKEMPTON, A.W. (1970), "First-time slides in overconsolidated clays", Géotechnique, Vol. 20, № 3, pp.320-324.
- SKEMPTON, A.W. (1977), "Slope stability of cuttings in Brown London clay", Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mechanics Foundation Engineering, Tokyo, Vol. 3, pp.261-270.
- SKEMPTON, A.W. (1985), "Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory", Géotechnique, Vol. 35, № 1, pp. 3-18.
- SKEMPTON, A.W. e BROWN, J.D. (1966), "A landslide in Boulder clay at Selsley, Yorkshire", Géotechnique, Vol. 11, pp.280-293.
- SKEMPTON, A.W. e DELDRY, F.A. (1957), "Stability of natural slopes in London clay", ICSMFE, 4th, London, pp. 378-381.
- SKEMPTON, A.W. e GOLDER, H.Q. (1948), "Practical examples of the  $\theta = \theta$  analysis of stability of clays", Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam, pp. 63-70.
- SKEMPTON, A.W. e LAROCHELLE, P. (1965), "The Bradwell slip: a short-term failure in London clay", Géotechnique, Vol. 15, № 3, Sept., pp.221-241.
- SKEMPTON, A.W. et alii (1969), "Joints and fissures in the London clay at Vraysbury and Edgware", Géotechnique, Vol. 19, № 2, pp.205-217.
- SNOW, D.T. (1968), "Rock fracture spacings, openings, and porosities", JSMFE, ASCE, Vol. 94, January, pp. 73-91.
- SOBRAL, H.S. e MENEZES, M.S. (1962), "Influência da umidade no comportamento dos massapés", Publicação do IPTUB, nov.
- SPEARS, D.A. (1969), "A laminated marine shale of carboniferous age from Yorkshire England", Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 39, № 1, March, pp. 106-112.

- SRIDHARAN, A., RAO, A.S. e SIVAPULLAIAH, P.V. (1986), "Swelling pressure of clays", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 9, № 1, March, pp.24-33.
- STIMPSON, B. (1979), "Simple equations for determining the factor of safety of a planar wedge under various groundwater conditions", Q.J.Engng. Geol., Vol.12, pp.3-7.
- STROMAN, W.R. et alii (1984), "Clay shale foundation slide at Waco Dam, Texas", Int. Conf. on Case Histories, Geot. Eng., Vol. II, pp.579-586.
- SUGDEN, M.B. et alii (1977), "Slip failures in bedded sediments", 9th ICSMEF, Tokyo, Vol. 2, pp.155-160.
- SUGDEN, M.B., WIERINGEN, H.V. e KNIGHT, K. (1977), "Slips Failures in Bedded Sediments", 9th ICSMFE, Tokyo, pp. 155-160.
- SUKLJE, L. e VIDMAR, S. (1961), "A Landslide due to long term creep", ICSMEF, Paris, pp. 727-735.
- TALESNICK, M. e BAKER, R. (1984), "Comparison of observed and calculated slip surface in slope stability calculations", Can. Geotech. J., Vol. 21, pp. 713-719.
- TAVENAS, F. e LERQUEIL, S. (1981), "Creep and failure of slopes in clays", Can. Geotech. J., Vol. 18, pp. 106-120.
- TEIXEIRA, A.H. e KANJI, M.A. (1970), "Estabilização do escorregamento da encosta da Serra do Mar na Área da cota 500 da Via Anchieta", Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 4, Rio de Janeiro, agosto, pp.(IV) 33-53.
- TEMPLETON, A.E., SILLS, G.L. e COOLEY, L.A.(1984), "Long term failure compacted clay slopes ". Int. Conf. On Case Histories in Geot.. Eng., May, Vol. II, pp. 749-754.
- TER-STEPANIAN, G. (1974), "Depth creep of slopes", Bulletin of the International Association of Engineering Geology, № 9, Krefeld, pp. 97-102.
- TERZAGHI, K.V. (1936a), "The shearing resistance of saturated soils and the angle between the planes of shear", 1st International Conference on Soil Mechanics And Foundations Engineering, Vol. 1, pp. 54-56.
- TERZAGHI, K.V. (1936b), "Stability of slopes of natural clays", 1st International Conference on Soil Mechanics And Foundations Engineering, Vol. 1, pp. 161-165.

- THOMSON, S. (1971), "Analysis of a failed slope". Canadian Geotechnical Journal, Vol.8, pp.596-599.
- THOMSON, S. e KJARTANSON, B.H. (1985), "A study of delayed failure in a cut slope in stiff clay", Can. Geotech. J., Vol.22, pp.286-297.
- THOMSON, S. e MORGENSEN, N.R. (1977), "Factors affecting distribution of landslides along rivers in Southern Alberta", Can. Geotech. J., Vol. 14, pp. 508-523.
- THORNE, C.P. (1984), "Strength assessment and stability analysis for fissured clays", Géotechnique, 34, № 3, pp. 305-322.
- TINOCO, F.H. (1981), "Analysis of a cutting in overconsolidated clay", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 533-537.
- TSYTOVICH, N.A. e TER-MARTIROSYAN, Z.G. (1981), "Short-term and long-term stability of slopes", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 539-540.
- TOWNSEND, F.C. e GILBERT, P.A. (1973), "Tests to measure residual strengths of some clay shales", Géotechnique, Vol. 23, № 2, pp.267-271.
- TOWSEND, F.C. e GILBERT, P.A. (1976), "Effects of specimen type on the residual strength of clays and clay shales", ASTM STP 599, pp.43-65.
- WAGENER, F. M. (1975), "Current theory and practice for building on expansive clays", Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6th Regional Conference for Africa, Durban, Vol. 2, pp.163-179.
- VALLEJO, G. et alii (1979), "Slope failure in expansive marls", 4th Int. Cong. on Rock Mechanics, Montreaux, Vol. 1, pp. 649-655.
- VAN DER MERWE, D.H. (1964), "The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction", The Civil Engineering in South Africa, Vol. 6.
- VAUGHAN, P.R. e KWAN, C.W. (1984), "Weathering, structure and in situ stress in residual soils", Géotechnique, Vol. 34, № 1, pp.43-59.
- VIBERG, L. (1981), "Mapping and classification of landslide conditions", ICSMEF, Vol. III, Stokholm, pp. 549-554.
- WEINERT, H.H. (1961), "Climate and weathered Karroo dolerites", Nature, 191 (4786), pp.325-329.

- WIDGER, R.A. e FREDLUND, D.G. (1979), "Stability of swelling clay embankments", Can. Geotech. J., Vol. 16, pp. 140-151.
- WILSON, S.B. (1970), "Observational data on ground movements related to slope instability", JSMFE, ASCE, 96, SM5, pp. 1521-1544.
- WOLSKI, W. et alii (1980), "Design parameters for weak rocks", Design Parameters in Geotechnical Engineering, BGS, London, 1980, Vol. 4, pp. 63-94.
- YAMANOUCHI, T. (1983), "Slope stability in a pumice - flow deposit Shirasu", Symposium on Recent Developments in Laboratory and Field Test and Analysis of Geotechnical Problems , Bangkok, pp.367-382.