



CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – CONFEA
CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – CREA-BA

PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS DA CIDADE DO SALVADOR

Moacyr Schuwab de S. Menezes
Jader Reis Rebouças
Horácio Pinheiro Monteiro
Wilson Sampaio Sahade

D-44

4

Salvador (Ba) – 1978



CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – CONFEA
CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – CREA-BA

PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS DA CIDADE DO SALVADOR

Moacyr Schuwab de S. Menezes
Jader Reis Rebouças
Horácio Pinheiro Monteiro
Wilson Sampaio Sahade

Salvador (Ba) – 1978

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

2 – ASPECTOS GERAIS

2.1 – Clima

2.2 – Morfologia

2.3 – Aspectos Geológicos e Estruturais

2.4 – Aspectos Geomecânicos do Maciço Rochoso

2.5 – Ocupação do Solo

3 – MECANISMO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

3.1 – Conceituação dos Movimentos do Solo

3.2 – Classificação dos Movimentos de Massa

3.2.1 – Escoamentos

3.2.2 – Escorregamentos

3.2.3 – Subsidiências

3.2.4 – Ruptura Progressiva

3.3 – Agentes e Causas de Movimentos de Massa

3.3.1 – Conceituação e Classificação

3.3.2 – Geometria do Talude

3.3.3 – Geologia

3.3.4 – Geomecânica

3.3.5 – Influência da Água

3.3.6 – Drenagem

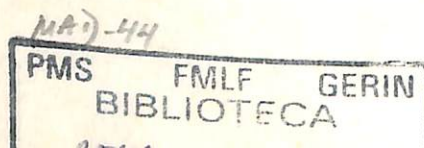
4 – PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM SALVADOR

4.1 – Caracterização das Zonas Instáveis

4.1.1 – Escarpa de Falha

4.1.2 – Avenidas de Vale

4.1.3 – Favelas



4.2 – Casos de Movimentação de Massa em Salvador

- 4.2.1 – Encosta Noroeste do Túnel Américo Simas
- 4.2.2 – Avenida Frederico Pontes
- 4.2.3 – Avenida do Contorno
- 4.2.4 – Baixa do Fiscal

5 – RECOMENDAÇÕES

6 – CONCLUSÕES

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APRESENTAÇÃO

O Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA é uma entidade autárquica dotada de personalidade jurídica de Direito Público, nos termos do artigo 80 da Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966, gozando de plena autonomia financeira e administrativa, somente vinculada ao Ministério do Trabalho, nos termos do Decreto-Lei 968, de 13 de outubro de 1968.

A função precípua do Conselho é a fiscalização do exercício legal da Engenharia, Arquitetura e Agronomia.

Embora tenha parte de sua representação composta de conselheiros oriundos de entidades de classe e por elas eleitos, não tem a finalidade classista nem de interesses individuais de seus profissionais, uma vez que é uma entidade pública preocupada com o zelo pelo exercício das profissões da engenharia, no intuito de preservar à comunidade a segurança do exclusivo exercício de serviços técnicos por quem se tenha habilitado legalmente.

Basicamente, preocupa-se o CREA da Bahia em assegurar o melhor serviço que a engenharia possa proporcionar à comunidade baiana e, conseqüentemente, garantir a tranqüilidade necessária ao desenvolvimento econômico e, sobretudo, ao bem-estar social.

Assim, não poderia deixar de atender ao chamamento da Comissão Parlamentar de Inquérito, instituída pela Câmara Municipal da Cidade do Salvador, a fim de prestar um depoimento, essencialmente técnico, a um problema que periodicamente incide sobre a comunidade baiana, com profundos reflexos econômicos e sociais.

Conspirou contra o desejo do CREA-BA em ser, mais uma vez, útil à comunidade baiana, o fato da exigüidade de tempo no preparo de um documento profundo sobre as encostas de Salvador, uma vez que a própria CPI foi instituída em regime de urgência.

Não obstante, convocou apressadamente quatro das maiores autoridades do Estado no assunto e, em curto espaço de tempo,

elaborou o presente trabalho, que, em realidade, traduz o desejo de contribuir efetivamente para o equacionamento da questão.

Sem outros interesses a não ser o de servir ao CREA-BA e, por conseguinte, à própria comunidade, os Drs. Moacyr Schwab de Souza Menezes, Jader Reis Rebouças, Horácio Pinheiro Monteiro e Wilson Sampaio Sahade reuniram um punhado de informações técnicas capazes de levarem à compreensão do problema e permitirem um melhor entendimento das sugestões oferecidas na busca da solução definitiva.

Naturalmente, não esperam os autores, e mesmo o próprio CREA-BA, que, com o presente trabalho, seja fornecida a solução imediata da questão, embora desafiem, com o esforço despendido, uma tomada de consciência mais técnica dos problemas resultantes dos escorregamentos de massa de solo e rocha nas encostas da Cidade do Salvador, a fim de que, no mais curto espaço de tempo, sejam adotadas as medidas que conduzam às soluções almejadas.

Compromete-se, ainda, o CREA-BA a colaborar com os senhores representantes do povo, em qualquer outra etapa do trabalho que possa levar ao equacionamento efetivo da questão e, mais ainda, assume, perante seus conselheiros, o propósito de seguir atentamente os trabalhos da CPI, cujo resultado naturalmente indicará a solução definitiva do problema, que considera como sendo tecnicamente viável.

O mesmo pensamento norteou o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia-CONFEA, quando deliberou patrocinar a publicação do trabalho em pauta, expressando assim seu apoio as recomendações e conclusões apresentadas.

Salvador, 27 de junho de 1978.

SÉRGIO NOBRE DE ANDRADE
Presidente CREA-BA

1 – INTRODUÇÃO

Os escorregamentos de terra e rompimentos de talude em solos, com conseqüências mais ou menos graves para a Cidade do Salvador, pode-se quase assegurar, são de caráter cíclico e coincidem geralmente com as épocas de maiores precipitações pluviométricas, ou seja, ocorrem com mais freqüência e gravidade nos meses de abril a junho. É como existir, atrás de toda questão de estabilidade de talude, um problema de drenagem, como aconteceu no recente rompimento do talude da Ladeira da Montanha, bem como nos mais antigos, quais sejam os do Túnel Américo Simas, Santo Antônio, Baixa do Fiscal, Avenida de Contorno, áreas do Tororó e Engenho Velho.

Os problemas decorrentes de escorregamentos ou rupturas em encostas não são restritos à Cidade do Salvador. Outras cidades brasileiras, como Santos, Petrópolis e Rio de Janeiro, têm sofrido os mesmos acidentes, às vezes até com maior gravidade. Foi mesmo em razão das dimensões catastróficas dos desmoronamentos ocorridos no Rio de Janeiro em 1966 que houve por bem o C.N.Pq. Instituir uma comissão, de técnicos nacionais, para a abordagem dos mencionados problemas e da qual resultou um relatório analítico dos fatos. Entre as principais conclusões, indicava-se a necessidade da criação e consolidação do Instituto de Geotécnica da Guanabara, apoiado numa legislação específica, a qual foi elaborada pelo legislativo do Rio de Janeiro. Essa legislação institucionalizou o novo órgão e forneceu ao mesmo o necessário apoio jurídico-financeiro indispensável à sua atuação efetiva.

Cópias do relatório dessa comissão foram, na época, encaminhadas pelo C.N.Pq. aos governos estaduais interessados no assunto.

Em decorrência de novos escorregamentos havidos em Salvador, em 1972, o Clube de Engenharia da Bahia promoveu uma mesa-redonda, sobre o assunto, da qual participaram técnicos do Instituto de Geotécnica do Rio de Janeiro e técnicos filiados ao clube. As conclusões dessa mesa-redonda foram encaminhadas à prefeitura do município e indicavam as medidas julgadas convenientes a curto, médio e longo prazos.

Em 1977, foi instituída, pelo Governo Estadual, uma Comissão Especial para Indicação de Medidas Preventivas de Novas Calamida-

des na Cidade do Salvador, a qual encaminhou, ao poder público, relatório respectivo, onde foram abordados aspectos técnicos, sociais e econômicos envolvidos, indicando as medidas preventivas consideradas essenciais para a solução do problema.

Além destas contribuições, outros trabalhos realizados por técnicos afiliados ao CREA, assim como firmas de consultoria, apresentaram uma abordagem mais ou menos generalizada, apontando as soluções consideradas mais viáveis.

Os resultados de estudos sobre escorregamentos ocorridos em Salvador, especialmente na área da avenida de Contorno à Baixa do Fiscal, têm apontado, como determinantes importantes:

1. A falta de uma drenagem adequada ou, melhor dito, a inexistência de uma drenagem de águas pluviais e servidas compativelmente com as necessidades da cidade;
2. A ocupação desordenada do solo, sobretudo conseqüência de determinantes sócio-econômicos que conduzem às invasões e formação de favelas em áreas de encosta. Essas construções invariavelmente contribuem para agravar as condições de estabilidade locais;
3. A implantação de novas avenidas e obras diversas que, além da modificação das condições naturais dos taludes, conduzem a uma intensa urbanização e que geralmente agrava as condições naturais de estabilidade, com os problemas conseqüentes.

Por força mesmo dos fatos acima listados, as medidas corretivas ou preventivas, sugeridas nos trabalhos consultados, coincidem, de modo geral e, resumidamente, poderiam ser citadas:

— drenagem, impermeabilização ou proteção vegetal dos taludes, construção de obras de contenção.

Pretende-se, neste trabalho, na medida permitida pelo curto prazo imposto, atender à solicitação da Comissão Parlamentar de Inquérito sobre Desabamentos e Situação das Encostas de Salvador, apresentando as informações técnicas julgadas convenientes para os

trabalhos dessa CPI.

Este trabalho consistiu-se de uma definição conceitual do problema, tanto no seu aspecto geral como no caso específico da Cidade do Salvador, e sugestões de medidas consideradas necessárias para o encaminhamento das devidas soluções.

2 – ASPECTOS GERAIS

2.1 – CLIMA

De acordo com Serebrenick, o clima da Cidade do Salvador é do tipo tropical – úmido (T.U.). Adotando-se a classificação de Wladimir Köppen, tradicionalmente aceita, ele pertence às classes A e Af, que se caracterizam por um elevado índice pluviométrico, com chuvas distribuídas durante quase todos os meses do ano, não existindo estações secas, sendo a umidade relativa do ar superior a 70%. A precipitação média anual fica no entorno de 2.000 mm e os meses de abril e maio são aqueles que apresentam valores mais elevados de precipitação, de frequência de dias chuvosos e de intensidade de precipitação.

Um levantamento estatístico elaborado para o período 1958 – 1970, com base nos dados da Estação Meteorológica de Ondina, revelou os valores seguintes:

- Temperatura média: 24°C, com uma amplitude de 4°C
- Precipitação média anual: 1989,4 mm
- Média de dias chuvosos anuais: 230 dias
- Umidade relativa do ar (média): 79%
- Insolação média: 3.346,5 horas/ano
- Maior precipitação horária: 90 mm, registrada em junho de 1969
- Maior precipitação diária: 208,4 mm, registrada no dia 22/05/66
- Maior precipitação anual: 3.417,7 mm, registrada no ano de 1964
- Maior precipitação anual: 946,1 mm, registrada no ano de 1961
- Temperatura máxima: 32,4°C, registrada no dia 05/02/67 (período 1966 – 1970)
- Temperatura mínima: 16,2°C, registrada no dia 21/11/68 (período 1966 – 1970)
- Umidade máxima média: 82%, no mês de março
- Umidade mínima média: 76%, no mês de fevereiro

A carta pluviométrica do Recôncavo Baiano, mostrando a distribuição dos pontos de igual altura de precipitação pluviométrica (mapa de isoietas) e os valores das precipitações médias mensais para

o período de 1959 – 1970, sob forma de histograma, encontram-se no desenho 1.

2.2 – MORFOLOGIA

As formas de relevo da Cidade são o resultado da ação dos fatores climáticos sobre uma infra-estrutura geológica, dominada pela Falha de Salvador, que se apresenta como uma grande área de rochas pré-cambrianas onde predominam granulitos e gnaisses, sobre os quais se desenvolveu espessa camada de solo residual capeado, nas cotas mais elevadas, por sedimentos terciários da formação Barreiras e, a oeste da falha, apresentando desde sedimentos cretáceos a deposições mais recentes.

O relevo apresenta-se bastante movimentado, sendo marcante a presença de espigões e vales encaixados, possivelmente segundo linhas tectônicas conqüentes da movimentação que originou o falhamento. Como grandes unidades de relevo, pode-se considerar Salvador dividida nas seguintes áreas:

- A Cidade Baixa, essencialmente plana, apresentando apenas em Bonfim e Mont'Serrat elevações em forma de colina;
- A escarpa da falha, decorrente de movimentos tectônicos importantes e que serão abordados com mais detalhes no item 4.1.1;
- Os espigões relativamente planos, recortados por vales, com as maiores cotas no entorno de 70 m, descendo suavemente até cotas de 40 m;
- Os vales, geralmente achatados e de larguras variando até 200 m, onde hoje se implantaram os sistemas viários mais importantes;
- As áreas de sedimentação mais recente, dominadas localmente por dunas que constituem grande parte da costa leste de Salvador.

De todas estas unidades, a escarpa de falha é a que apresenta os maiores problemas de estabilidade de taludes, por força de sua

infra-estrutura geológica e do denso povoamento da sua área de montante.

Grande parte da área da Cidade, em conseqüência de sua característica dominante de espigões e vales, é constituída de encostas com inclinações variáveis, desde valores muito reduzidos a ângulos muito elevados.

Segundo PEIXOTO, Célia S. (1968) a maioria das encostas possui inclinação variando entre 14° e 27° , sendo a inclinação média encontrada pelo referido autor de 23° . São freqüentes, porém, encostas com inclinações muito elevadas, especialmente no caso do escarpamento onde há ocorrências com valores superiores a 40° .

Ainda que essas encostas mais íngremes não tenham grande expressão em termos percentuais da área total da Cidade, elas se tornam relevantes pelo condicionamento de instabilidade que determinam por sua própria geometria.

As encostas dos vales, embora localmente possam atingir valores bastante elevados de inclinação, são geralmente estáveis, quando não modificadas, na sua geometria, para a implantação de obras de engenharia.

Vale destacar, pela sua importância quanto a problemas de movimentação de solo, toda a área próxima ao dique do Tororó.

2.3 – ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS

Geologicamente, observam-se, na Cidade do Salvador, rochas cristalinas de idade Pré-cambriana, sedimentos cretáceos e terciários, bem como depósitos quaternários de idade atual e subatual (mapa geológico esquemático contido no desenho 2).

O quaternário está representado por depósitos aluviais, coluviais, pelas dunas de origem eólica e por depósitos de praia que ocorrem na Costa Atlântica. As formações quaternárias, com ocorrência de argila mole e areia, não têm, em Salvador, a importância, quanto à freqüência de movimento de massa, verificada em outros locais. As dunas, entretanto, podem ocasionar danos

sérios, devido a fenômenos de erosão, quando mal drenadas e protegidas insuficientemente.

Os sedimentos terciários, representados pela Formação Barreiras, afloram em algumas áreas da "Cidade Alta", como a Liberdade, sobrepostos às rochas metamórficas do embasamento cristalino Pré-cambriano. São sedimentos arenosos e areno-argilosos, com espessura variável.

Os sedimentos cretáceos, representados pelas formações sedimentares da Bacia do Recôncavo, afloram na "Cidade Baixa" e em alguns subúrbios de Salvador, onde se destacam as formações do Grupo Ilhas, que apresentam uma seqüência de arenitos e folhelhos nos quais a ação do intemperismo químico deu origem a horizontes de solos distintos.

Merecem destaque especial os solos expansivos, resultantes das camadas de folhelhos, conhecidos pelo nome de massapê, essencialmente argilosos, ricos em montmorilonitas e caolinitas, com alta sensibilidade às variações do teor de umidade, normalmente de cor escura, ricos em óxidos alcalinos.

As rochas cristalinas do embasamento Pré-cambriano — granulitos, gnaisses, diques ácidos e básicos — ocorrem na parte da cidade limitada pela grande Falha de Salvador e pelo Oceano Atlântico.

Sua topografia é mais acidentada e, a partir do "horst", nota-se a presença de encostas, de colinas e de espigões, ao lado de vales planos onde os rios e córregos apresentam um gradiente hidráulico pouco acentuado e formam uma densa malha hidrográfica.

Três fatores são particularmente importantes, quando se analisa o problema de estabilidade dos taludes naturais nessas unidades estratigráficas: o espesso manto do solo residual, as linhas de fraqueza estruturais causadas por falhamento e fissuramento e a posição e variação do lençol freático.

O intemperismo químico, agindo em uma região de clima tropical, quente e úmido, ocasionou a formação de espessa camada de solo residual ou autóctone, nas rochas pré-cambrianas, dando como resultado um perfil maduro, bem desenvolvido, com uma textura silto-arenosa e silto-argilosa, com nítida identificação dos

horizontes inferiores C e D, geralmente mais argilosos, onde estão preservadas as estruturas da rocha matriz.

Os argilo-minerais, quando presentes, são do grupo da caolinita e, devido à sua estrutura cristalina, são relativamente estáveis em presença da água.

As feições estruturais, condicionadas pela tectônica em sua fase plástica e rígida, são responsáveis pelos dobramentos, falhamentos e fissuramento das formações rochosas. Reveste-se de importância, no caso de Salvador, sua fase rígida — falhamentos e fissuramentos —, pela frequência com que ocorre, por sua extensão geográfica e, sobretudo, pela formação de planos de instabilidade e de fraqueza, nos maciços rochosos, podendo causar o movimento de grandes massas de solo e rocha.

O falhamento de maior significado, pelo seu posicionamento e energia liberada, está representado pela grande Falha de Salvador, com rejeito de mais de 5.000 m, cuja escarpa abrupta separa a "Cidade Alta" da "Cidade Baixa" e que, de acordo com a interpretação de Barnes (1949), se deve, a uma ruptura da bacia de subsidência, que se entulhava de sedimentos continentais, depositados em uma depressão jurássica, cujo fundo deprimia-se à medida que os sedimentos se acumulavam. Após a deposição do Grupo Brotas e do Grupo Santo Amaro, o limite elástico do embasamento foi ultrapassado, ocasionando o falhamento da estrutura. Associadas à Falha de Salvador, existem falhas secundárias de acomodação nas rochas do Embasamento Cristalino.

Fissuramentos, juntas e diáclases cortam as rochas do embasamento em diversos planos e em várias direções. Encontram-se, na maioria das vezes, preenchidos e, dada a densidade de sua distribuição, assumem papel importante, quanto ao condicionamento de planos preferenciais, para o deslocamento de solo e rochas nas encostas.

2.4 – ASPECTOS GEOMECÂNICOS DO MACIÇO ROCHOSO

De um modo amplo, os aspectos geomecânicos do maciço rochoso da Cidade do Salvador podem ser analisados considerando-se

as unidades estratigráficas do Complexo Cristalino e as rochas sedimentares, de idade cretácica, pertencentes à bacia sedimentar do Recôncavo Baiano.

Como resultado dos esforços tectônicos que atuaram, com maior intensidade, sobre as rochas cristalinas, observa-se, nessas unidades, uma anisotropia muito acentuada, através de planos de fratura, lineações e estruturas outras orientadas, que se comportam, de um modo geral, com características bem diferenciadas quando sua resistência aos esforços compressivos é considerada.

Devido à anisotropia, o efeito dinâmico do falhamento, cuja escarpa limita a "Cidade Baixa", ao liberar a energia necessária para romper a rocha regional não distribuiu uniformemente essa energia, pelo corpo rochoso. Houve, então, concentrações de tensões que se propagaram a partir de fissuras originais, caoticamente distribuídas e orientadas no material rochoso, ocasionando, conseqüentemente, anisotropia, compartimentação do material rochoso e desenvolvendo planos de diáclase e fratura que, potencialmente, criaram condições favoráveis ao desenvolvimento dos fenômenos de movimentação de massas de rocha, nas encostas ao longo da escarpa de Falha de Salvador (Teoria de GRIFFITH).

Pela sua importância e a fim de evitar um desastre de proporções consideráveis, o comportamento do maciço rochoso ao longo da Falha de Salvador deve ser motivo de uma análise acurada e imediata, visando definir a ordem de grandeza dos parâmetros envolvidos e que condicionam o seu comportamento geomecânico.

2.5 – OCUPAÇÃO DO SOLO

A necessidade de planejar, adequadamente, a ocupação humana do solo constitui uma imposição administrativa do desenvolvimento. Entretanto, não se pode negar que, presentemente, o meio físico não tem sido considerado, para efeito de planejamento, com a importância que ele representa.

O crescimento e a ocupação desordenada que afetam as cidades brasileiras podem ser, basicamente, atribuídos a uma ausência de planificação adequada ou, mais lamentavelmente, à existência de

planos cujas diretrizes não foram suficientemente estudadas em todos os seus detalhes, tornando-se, em conseqüência, bastante discutíveis.

Nesse último caso, os resultados apresentam três aspectos negativos:

- em primeiro lugar, o caráter parcial de tais planejamentos torna-os dificilmente exeqüíveis e, assim, cumpridos ou não, redundam sempre em fracasso;
- em segundo, o ônus decorrente de sua implantação resulta em um reprovável desperdício do erário público;
- como conseqüência dos dois primeiros, verifica-se o descrédito, sempre crescente, da administração e do termo planejamento.

Observa-se, quase sempre, uma preocupação simplista no tratamento de problemas complexos. Os diagnósticos e planos diretores são geralmente elaborados de maneira expedita, sendo, na maioria das vezes, encarados como mera formalidade burocrática, exigida por lei, ou como paliativo em situações de emergência, quando da ocorrência de calamidades públicas.

Os poucos trabalhos encontrados, no âmbito do planejamento regional ou urbano, e que encaram o meio físico com seriedade, resumem-se a considerações parciais, no sentido do aproveitamento das disponibilidades locais. De um modo geral, os elementos considerados são referentes, apenas, a dados topográficos, sem considerar que o meio físico fornece, a vários níveis, um aspecto mais amplo das suas possibilidades e limitações de uso.

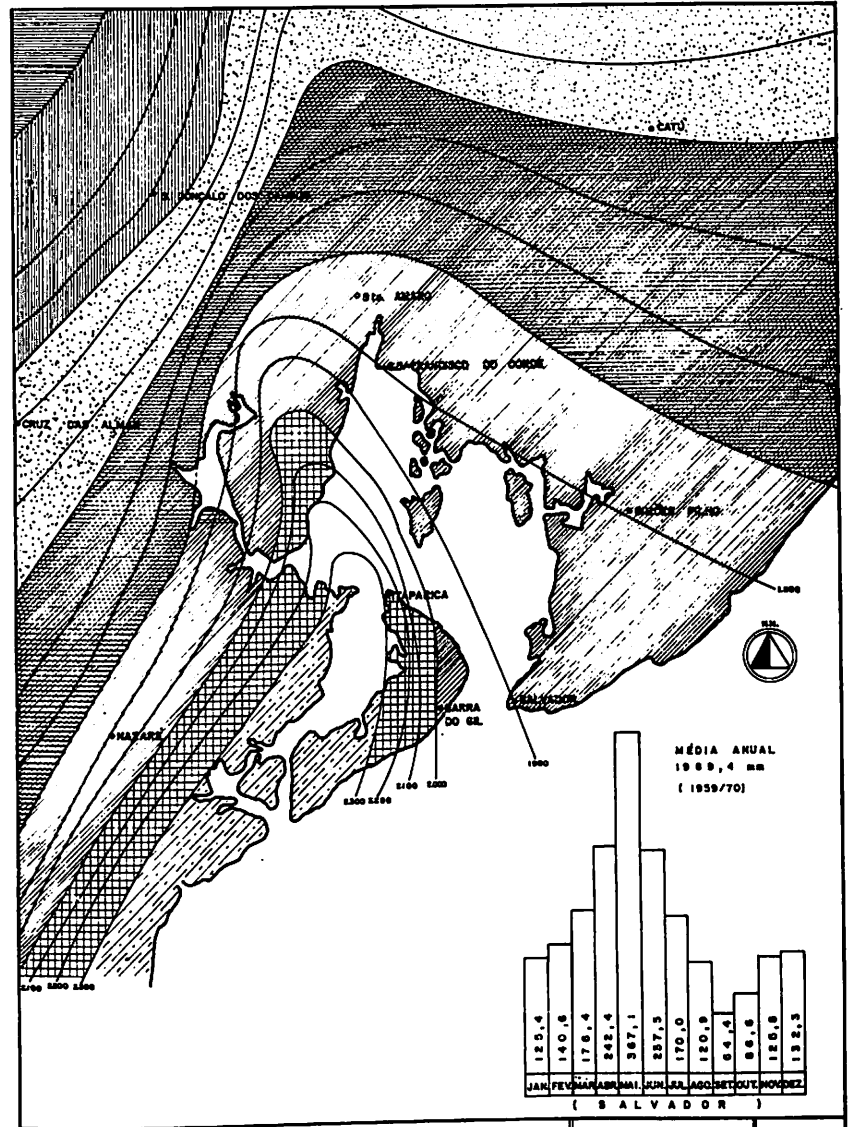
Planificar racionalmente a ocupação da Cidade do Salvador, pelas suas características geológicas e morfológicas e por suas peculiaridades sócio-econômicas, requer um estudo complexo, a vários níveis, considerando não apenas o meio físico, como também as peculiaridades de seu crescimento, integrado com o desenvolvimento do Estado da Bahia.

A maneira desordenada como foi feita a ocupação do solo, na Cidade do Salvador, encontra-se descrita, em detalhe, no relatório da

Comissão Especial Para Indicação de Medidas Preventivas de Novas Calamidades na Cidade do Salvador, do qual alguns trechos são transcritos a seguir:

- "como é do conhecimento geral, Salvador possui uma topografia acidentada, que tem caracterizado, no decorrer do tempo, uma ocupação do solo com as seguintes peculiaridades:
 - ocupação e lançamento do sistema viário primeiramente nas cumeadas, onde chegam os primeiros benefícios públicos em serviços de urbanização, pelas facilidades existentes de integração dessas áreas com os núcleos de ocupação já estabelecidos;
 - pela valorização especulativa das mencionadas faixas de terra, o processo de ocupação se encaminha através das encostas, independente de sua declividade e das condições geológicas do solo. Neste caso, um fator de grande importância é a participação direta do usuário, geralmente de pouco poder aquisitivo, quase sempre agravando as condições de equilíbrio dos taludes. Como única alternativa para morar, essa população recorre a grandes cortes nas encostas, retirando a vegetação existente, construindo precariamente as suas casas. Em consequência desta ocupação desordenada, passa a existir nessas áreas uma demanda sempre crescente de obras, contenção de taludes e de serviços de infra-estrutura urbana;
 - ocupação dos vales, mais rarefeita nas áreas ligadas ao circuito central do sistema viário urbano, com características variadas. Nas áreas mais pobres de população de baixa renda, inexistem obras de saneamento, em contraposição à presença de rios e córregos. Como receptores naturais das águas pluviais e esgotos sanitários, formam-se, nos vales, grandes áreas alagadas, sujeitas à contaminação e de visível perigo para os habitantes locais;
 - ocupação marginal das áreas restantes, quase todas formadas por encostas de grande declividade."
- ... "Ao mesmo tempo, a falta de adequada política de ocupação e uso do solo urbano e o crescente aumento populacional

(4,6% ao ano), decorrente das pressões exercidas pelas grandes massas de migrantes que anualmente se deslocam da área rural, passando a viver em condições subumanas, sem renda que lhes permita integrar-se à vida social e econômica, geram o quadro que, nos períodos de chuvas, hoje se acentua e adquire um caráter bem próximo à calamidade pública".



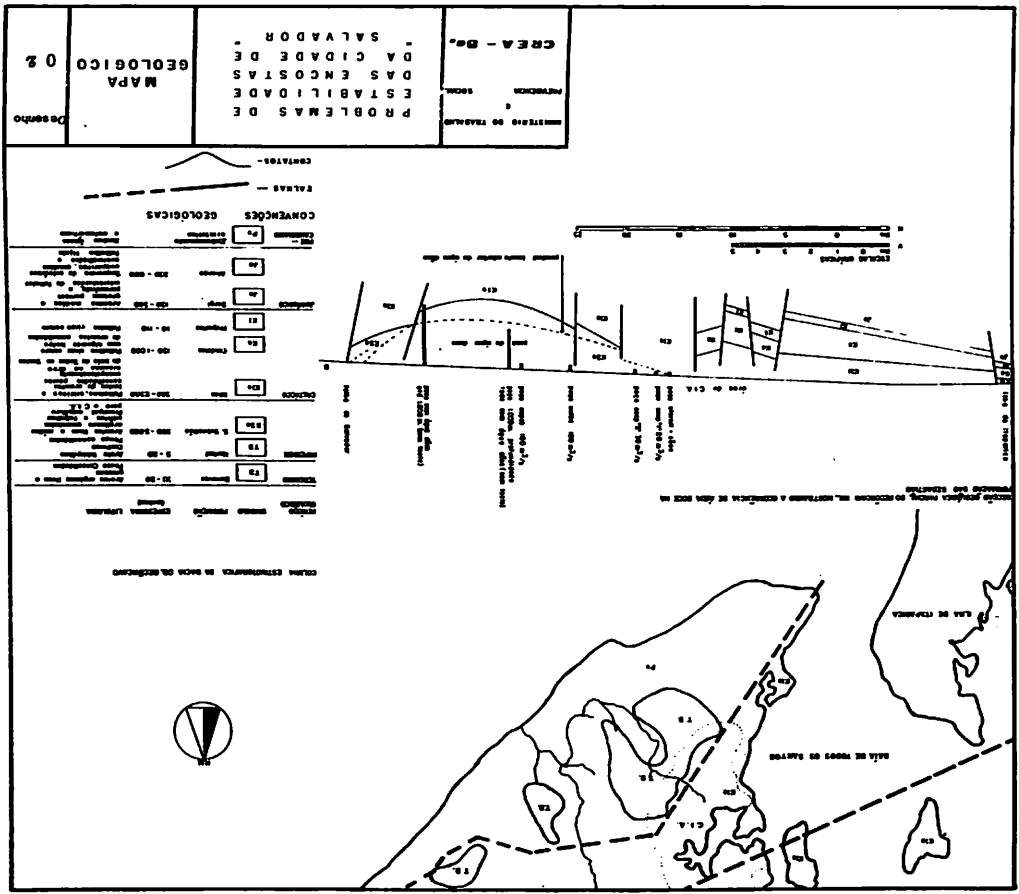
MINISTÉRIO DO TRABALHO
e
PREVIDÊNCIA SOCIAL
CREA - B.C.

PROBLEMAS DE
ESTABILIDADE
DAS ENCOSTAS
DA CIDADE DE
" SALVADOR "

MAPA DE
ISOIETAS
ANUAIS

Desenho
01

ESCALA 1:500.000



3 – MECANISMOS DOS MOVIMENTOS DE MASSA

3.1 – CONCEITUAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE SOLO

De um modo geral, os movimentos de solo, de material terroso e/ou rochoso, em zonas urbanas, principalmente aquelas densamente povoadas, têm sido objeto de preocupação constante de órgãos governamentais, entidades privadas, associações de classe e do público em geral. Esses movimentos, como se sabe, geram inúmeros problemas, resultando quase sempre danos materiais vultosos e vítimas fatais, sendo, por isso mesmo, estudados por especialistas de todo o mundo, nas diversas categorias profissionais. Deste modo existe, na literatura nacional e internacional, um extenso acervo de dados e de observações.

Comumente, o termo "escorregamento" tem sido utilizado, abrangendo todo e qualquer movimento conjunto de solo e de rocha, independentemente da diversidade de processos, causas, velocidades, formas e características.

Terzaghi, K., em 1951, no seu artigo "Mechanism of Landslides", define o termo **escorregamento** como sendo um deslocamento rápido de uma massa rochosa, de solo residual, ou de sedimentos adjacentes, de um talude no qual o centro da gravidade da massa em movimento avança numa direção orientada inicialmente para cima e posteriormente para baixo.

Tendo em vista a extrema diversidade de enfoque do problema, a complexidade dos processos envolvidos e a multiplicidade dos ambientes de ocorrência, os movimentos de massa serão aqui classificados, conceituados e definidos de maneira geral — incluindo a identificação dos agentes e causas —, dando ênfase àqueles observados com maior intensidade e frequência nos taludes naturais e cortes da Cidade do Salvador.

Os conceitos e definições, apresentados neste capítulo, visam tão somente esclarecer os aspectos técnicos do problema, para uma melhor compreensão da gama de fenômenos que envolvem os movimentos de massa e resultam de inúmeros estudos e da vasta experiência adquirida pelos especialistas do assunto.

3.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Existe um grande número de sistemas classificadores de movimentos de massa, sendo que a maioria tem aplicabilidade regional, influenciada que foi pelas condições do ambiente em que o autor ou os autores os elaboraram.

No Brasil, destacam-se as classificações de Freire Magalhães (1965), Vargas (1966) e Costa Nunes (1969), voltadas para a ocorrência de movimentos de massa em ambientes tropical e subtropical úmidos.

Segundo Freire (1965), os movimentos coletivos de solo e de rocha podem ser classificados em três tipos fundamentais: escoamentos, escorregamentos e subsidências.

3.2.1 – ESCOAMENTOS

Os escoamentos ("creep", "flow") correspondem a uma deformação, de movimento contínuo, com ou sem superfície definida. Podem ser divididos em rastejos e corridas, não somente pelo fator velocidade, mas, principalmente, pelas modalidades de deformação produzidas pelos dois processos.

O escoamento ("creep") ocorre principalmente em solos argilosos e siltosos. Em regiões tropicais, esse fenômeno é comum nos solos residuais, embora a velocidade de deslocamento seja, normalmente, muito baixa. O escoamento contínuo ocorre principalmente em folhelhos e em xistos argilosos, com baixa cimentação, ante a expansão e a deterioração dessas rochas, quando em contato com a água e o ar. Em outras palavras, quando os folhelhos ficam expostos ao intemperismo, os taludes naturais correspondentes estarão sempre sujeitos a deslocamentos, que, embora lentos, podem atingir a dezenas de metros. Esses deslocamentos, em geral, não são muito profundos, mas podem acionar deslizamentos muito rápidos.

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos de materiais de encosta, com limites geralmente indefinidos, e podem envolver grandes massas de solo. A movimentação é provocada pela ação da gravidade, com intervenção de efeitos, devido às variações de

temperatura e umidade. Parte da componente horizontal do movimento do solo é produzida por expansão térmica e contração de massa do material, por aumento e diminuição de volume. Resulta, desses fenômenos, um movimento descendente de uma camada de terra de espessura igual ou inferior à atingida pela variação de temperatura e de umidade. Abaixo dessa profundidade, somente poderá haver rastejo por ação da gravidade, sem auxílio de outros agentes, daí resultando uma movimentação constante. Esse tipo recebeu de Terzaghi (1951) a denominação de rastejo constante, em contraposição ao mais superficial, denominado de rastejo periódico ou razoável.

O rastejo pode ainda ter comportamento complexo, avançando em velocidade não-uniforme, ou, ainda, passar a escorregamento, e este, por sua vez, ser seguido por rastejo do material que se desloca para fora do talude.

Quanto à velocidade do rastejo em si, esta não supera, segundo Terzaghi (1951), 0,30 m em dez anos, em rastejos típicos, sendo raros os casos de movimentos mais rápidos. Varnes, D. J. (1950) apresenta, em seu trabalho, uma escala de velocidade, onde são sugeridos os intervalos em que os três tipos de movimento de massa ocorrem. Essa escala apresenta velocidades de 0,3 m por quinquênio, para os movimentos extremamente lentos, e até mais de 3 m por segundo, para os movimentos extremamente rápidos. Nela, o limite superior de velocidade para o rastejo situa-se em torno de 10^{-7} m/s.

Já as "corridas" são formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionado pela perda de atrito interno, em virtude de destruição da estrutura, devido à presença de excesso de água.

Dentre as corridas, podem ser citadas as de terra, de areia ou silte, de lama e avalanche de detritos.

3.2.2 – ESCORREGAMENTOS

Os escorregamentos, tipo de movimento de massa de solo e rocha que ocorre freqüentemente em Salvador, correspondem a um deslocamento finito, ao longo de superfície definida de deslizamento,

preexistente ou em formação. Estes podem ser subdivididos, segundo exista predominância de rotação (escorregamentos rotacionais) ou de translação (escorregamentos translacionais). Nos escorregamentos, os movimentos são rápidos, de duração relativamente curta, de massas de solo e rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade desloca-se para baixo e para fora do talude. A velocidade de avanço de um escorregamento cresce, mais ou menos rapidamente, de quase zero a pelo menos 0,30 m por hora, segundo Terzaghi (1951), atingindo, freqüentemente, velocidades da ordem de 0,30 m por minuto ou mais.

No que se refere aos agentes e causas que conduzem ao aparecimento de escorregamentos, estes serão abordados no item seguinte.

Com relação à dinâmica do escorregamento, para que este ocorra é necessário que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do material e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de ruptura tenha-se reduzido de um valor inicial maior que um até a unidade, no instante do escorregamento. O decréscimo dessa relação é quase sempre gradual, envolve uma deformação progressiva do corpo do material situado acima da superfície potencial de escorregamento e um movimento descendente, em declive, de todos os pontos situados na superfície daquele corpo.

As rupturas por cisalhamento, ao longo de uma superfície de deslizamento, estão associadas a uma redução de resistência ao cisalhamento. Desse modo, durante a primeira fase do escorregamento, a massa desloca-se em movimento acelerado. Entretanto, à medida que o escorregamento se processa, as forças que determinam o movimento diminuem e a massa vai atingindo posição cada vez mais estável. O movimento torna-se, então, retardado e, finalmente, para ou assume o caráter de rastejo.

A velocidade máxima do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza das camadas do terreno. Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão com ângulo de atrito interno elevado e nos quais a superfície de escorregamento é mais inclinada. O decréscimo da resistência ao

cisalhamento, produzido pelo movimento inicial, varia entre mais ou menos 20% para areias pouco soltas e argilas de pequena sensibilidade, atingindo até 90% para areias saturadas muito soltas e argilas moles de grande sensibilidade (Terzaghi, 1951). Após a descida da massa deslocada ter eliminado a diferença entre forças atuantes e resistentes, o movimento passa a adquirir o caráter de rastejo, a não ser que o escorregamento tenha alterado radicalmente as propriedades físicas do material.

No que se refere ao tipo de escorregamento de talude natural ou de encosta, denominado rotacional, sabe-se que este se verifica constantemente nas encostas brasileiras e, em particular, na Cidade do Salvador, mobilizando geralmente o manto de alteração. São movimentos quase sempre catastróficos, causados pelo deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha, ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao lado da própria superfície da rocha.

Se a ruptura ocorre ao longo de uma superfície de deslizamento que intercepta o talude no seu pé ou acima dele, esta se caracteriza como "escorregamento de talude". Outro caso seria aquele em que a superfície de ruptura tagencia uma base resistente, subjacente ao pé do talude. Nesse caso, o escorregamento é denominado de "escorregamento de base". Em ambas as situações, o limite rígido subjacente ao pé do talude pode ser rocha, argila dura ou qualquer outro material de resistência superior àquela mobilizada pelo material do terreno. A forma e a posição da superfície de ruptura são influenciadas pelas variações da resistência ao cisalhamento das camadas e da distribuição das pressões neutras no interior do talude. A superfície de ruptura, num escorregamento do tipo rotacional, tem uma forma aproximadamente cilíndrica. No entanto, caso a resistência ao cisalhamento de um solo possua variações nas direções horizontal e vertical, o círculo de ruptura poderá sofrer achatamento ou maior desenvolvimento na vertical.

Alguns autores, tais como Cruz, P. (1970) e Skempton (1969), distinguem, entre os escorregamentos rotacionais, nos taludes naturais, três tipos: profundos, superficiais e parciais.

No primeiro caso, a superfície de ruptura pode ser ou não circular. Com relação aos escorregamentos superficiais, estes ocorrem

geralmente em solos residuais, que normalmente apresentam resistência ao cisalhamento crescente à proporção que as camadas de solo afastam-se da superfície exposta do talude. Nesse caso, a superfície de ruptura pode ser admitida cilíndrica, com raio bastante grande. No terceiro caso, a situação é muito mais complexa, porque envolve a possibilidade de fendas no topo do talude e a superfície de ruptura tem forma irregular.

Nos escorregamentos translacionais, os movimentos de massa dão-se através de planos de fraqueza ou ao longo de discontinuidades preexistentes, decorrentes de condicionantes estruturais do substrato. Os escorregamentos translacionais podem ser de solo, rocha ou coletivamente de solo e rocha.

3.2.3 – SUBSIDÊNCIAS

Um terceiro tipo de movimento de massa foi definido, (Freire – 1965), como “subsidiências”.

As subsidiências correspondem a um deslocamento finito ou deformação contínua, de direção essencialmente vertical, e encontram-se classificadas em três tipos: subsidiências propriamente ditas (em que o movimento consiste essencialmente em uma deformação contínua), recalques (em que, por expulsão de um fluido, verifica-se uma deformação global do solo, produzida pelos deslocamentos) e os desabamentos (que consistem em um deslocamento finito, vertical, geralmente rápido).

Subsidiências propriamente ditas são de pouco interesse ao estudo das encostas de Salvador, pois não se tem conhecimento, até o momento, desse tipo de movimento, em sua área urbana.

3.2.4 – RUPTURA PROGRESSIVA

A ruptura progressiva é uma forma de escorregamento normalmente associada a uma distribuição não-uniforme de tensões, ao longo da superfície de ruptura, ou com solos e rochas estratificadas, sempre que a superfície de ruptura atravessa materiais cujas tensões de formação são distintas. Por outro lado, nesses casos, o deslizamen-

to pode ocorrer quando a tensão de ruptura média é consideravelmente inferior à resistência ao cisalhamento (de pico) determinada a partir de ensaios triaxiais ou de cisalhamento direto. Esse fenômeno foi analisado com detalhe, entre outros, por Bengt. B. Broms.

3.3 – AGENTES E CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA

3.3.1 – CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Entende-se por causa, o modo de atuação de determinado agente. Os agentes podem ser classificados em predisponentes e efetivos (Guidicini, G. e Nieble, C., 1976).

Denomina-se “agentes predisponentes” ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais em que o movimento de massa irá ter lugar. Trata-se, portanto, de um conjunto de condições intrínsecas, função apenas de condições naturais, neles não atuando, sob qualquer forma, a ação do homem. Dentre os agentes predisponentes podem-se distinguir: complexo geológico (natureza petrográfica, estado de alteração por intemperismo, falhamentos, dobramentos, atitudes das camadas, formas estratigráficas, etc.), complexo morfológico (inclinação superficial, massa, forma de relevo), complexo climático-hidrológico (clima, regime de águas meteóricas e subterâneas), gravidade, calor solar e tipo de vegetação.

Chama-se de “agentes efetivos” ao conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, neles incluindo-se a ação humana. Podem atuar de forma mais ou menos direta, podendo ser subdivididos em preparatórios e imediatos. Entre os agentes efetivos preparatórios citam-se: pluviosidade, erosão pela água ou vento, variação de temperatura, ação humana e de animais, inclusive desflorestamento. Entre os agentes efetivos imediatos citam-se: chuva intensa, ondas, abalos sísmicos, ação do homem, etc. (Guidicini, J. e Nieble, C., 1976).

As causas podem ser separadas, dependendo de sua posição com relação ao talude, e classificadas em externas, internas e intermediárias (Terzaghi, K., 1951).

As “causas externas” são as que provocam um aumento das

tensões de cisalhamento, sem que haja redução de resistência do material (aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na parte superior do talude). As "causas internas" são as que levam o talude ao colapso, sem que se verifique qualquer mudança nas condições geométricas do talude, e que resultam de uma redução da resistência do cisalhamento do material (acréscimo de pressão neutra e redução progressiva da coesão). As "causas intermediárias" resultam de efeitos causados por agentes externos, no interior do talude (elevação do nível piezométrico, rebaixamento rápido e erosão regressiva).

Abordam-se, a seguir, os fatores intervenientes na movimentação de massa, considerados mais importantes para a Cidade do Salvador.

3.3.2 – GEOMETRIA DO TALUDE

Uma das causas mais comuns e mais óbvias no desencadeamento do processo da instabilidade dos taludes naturais (encostas) e de corte consiste na modificação das condições geométricas da massa, solo ou rocha, com a execução de um corte excessivo no pé do talude, com remoção de parte de sua massa e a colocação de sobrecarga no bordo superior. As duas operações provocam um acréscimo das tensões de cisalhamento do solo abaixo do talude e, logo que a tensão média de cisalhamento na superfície potencial de deslizamento torna-se igual à resistência média correspondente, o escorregamento terá lugar (Terzaghi, K., 1951).

O próprio retaludamento, executado para aumentar a estabilidade da massa, pode vir a reduzir não só as forças solicitantes, que tenderão a induzir a ruptura, mas também a pressão normal atuante no plano potencial de ruptura e, conseqüentemente, a força de atrito resistente. Um dos erros mais freqüentes consiste na remoção de porções inferiores ao talude, principalmente quando algum movimento já se verificou (Vargas, M., 1966).

3.3.3 – GEOLOGIA

A importância da geologia sobre a estabilidade de taludes

naturais foi enfatizada por diversos autores, entre os quais Henkel (1967), que faz referência aos seguintes fatos:

- "movimentos em superfície de ruptura preexistentes e estabelecidos por movimentos tectônicos, alívio de tensões resultantes de intemperismo ou erosão, ou os efeitos de escorregamentos antigos, ou ainda a presença de fissuras em argilas, esclarecem algumas situações práticas. Em outros casos, porém, explicações alternativas devem ser buscadas para as rupturas observadas;
- em muitas situações, a sucessão geológica consiste numa série de camadas intercaladas de solos arenosos e argilosos. Em geral, a resistência ao cisalhamento dos horizontes argilosos é inferior à dos arenosos. Além disso, a permeabilidade das camadas arenosas é, em geral, consideravelmente superior à das camadas argilas. Isto leva a crer que as pressões neutras que se desenvolvem nas camadas arenosas e nos limites entre as camadas argilas e arenosas são determinadas, quase exclusivamente, pelo fluxo da água nas camadas arenosas;
- no caso de camadas argilas horizontais, em formações com camadas intercaladas de solos arenosos e argilosos e com fluxo de água paralelo à superfície argilosa, o ângulo de estabilidade da camada de areia sobreposta à argila permanece entre 16° e 18° , para areias típicas;
- o exame de estabilidade de materiais mais permeáveis e mais resistentes revelou um mecanismo no qual as componentes das forças resultantes do movimento da água, paralelo às camadas argilas, têm uma influência extremamente importante na estabilidade".

Ensaio mostram que as propriedades geotécnicas dos folhelhos, face à estabilidade de taludes, são anormalmente baixas, em especial sua resistência ao cisalhamento, que assume caráter anisotrópico, sendo menor ao longo dos planos de foliação e cisalhamento que ao longo de quaisquer outros planos. Assume, assim, grande importância, a posição espacial dos planos de foliação e cisalhamento, nesse tipo de litologia.

Os sedimentos arenosos e siltosos das formações do Grupo Ilhas apresentam grau de consolidação variável, o que, em termos geotécnicos, lhes confere compacidades variáveis, situando-se, normalmente, nas faixas de medianamente compactos a compactos, segundo o critério SPT.

Por outro lado, os perfis erráticos, típicos de formações sedimentares, são responsáveis pelo aparecimento de regiões mais permeáveis, por onde a concentração do fluxo das águas do subsolo toma uma orientação que foge a qualquer análise por modelos teóricos que possam reproduzir as condições de uma rede de fluxo no campo (Schwab, M., 1978).

Finalmente, os mergulhos das camadas e os planos de fratura, nesse tipo de litologia, representam elementos controladores da estabilidade de taludes, cuja consideração é levada em conta até mesmo na seleção dos planos de carregamento dos corpos de prova em ensaios de cisalhamento.

3.3.4 – GEOMECÂNICA

Rocha, M. (1971), estudando o desmoronamento de taludes naturais, em formações rochosas, comprovou que a maior parte dos acidentes ocorridos com esses materiais era resultante da existência de orientações segundo as quais a resistência ao cisalhamento é muito baixa, mesmo nos casos em que, nas condições normais, as rochas apresentavam-se bastante resistentes.

O mesmo autor considera como um dos maiores problemas, quando se estuda a estabilidade dos maciços rochosos, a sua anisotropia, vez que esta última torna o fenômeno de sua movimentação muito complexo, pois a forma da superfície de ruptura é função da orientação de seus principais sistemas e compartimentos, determinados por famílias de junta que, freqüentemente, seguem diversas orientações. Muitas vezes, como acontece em outros domínios e, em particular, no que diz respeito aos solos, dadas as características elásticas dos materiais rochosos, eles podem exibir grandes deslocamentos sem que, necessariamente, se observem, superfícies de escorregamento bem delineadas. Esses deslocamentos serão, então, originados da ocorrência de numerosas superfícies secundárias de escorregamento, como teoricamente deve ocorrer nos estados de

equilíbrio da teoria da plasticidade.

Além da anisotropia, as pressões, a que estão submetidos os fluidos contidos nos planos de acamamento de diáclases e de outras fraturas, afetam, de maneira marcante, o comportamento mecânico das rochas, sobretudo naquelas unidades litológicas que, por suas características petrográficas, apresentam pequeno índice de resistência à compressão. Alguns autores consideram a pressão intersticial como um dos principais fatores que condicionam e influenciam os desmoronamentos dos taludes rochosos naturais.

A caracterização das propriedades mecânicas do maciço rochoso é, geralmente, obtida através de ensaios, sendo as situações mais comuns apresentadas, em forma de síntese, a seguir:

- via de regra, é possível determinar as características de resistência ao cisalhamento de diáclases e outras superfícies de compartimentação de maneira satisfatória, mediante ensaios de laboratório. Convém procurar corrigir os valores obtidos, para ter-se em consideração anisotropias não representadas nos corpos de prova, embora essa correção possa vir a ser desprezada, na prática, em virtude das dificuldades de caracterizar sua geometria. A amostragem integral, em muitos casos, pode resolver o problema;
- sabe-se que o ângulo de atrito máximo das diáclases sem enchimento mole apresenta, em geral, valores entre 25° e 40°, mesmo no caso de diáclases em rochas alteradas e decompostas. O ângulo de atrito residual chega a apresentar, com certa freqüência, valores de até 35°. A existência de enchimentos argilosos faz baixar muito o ângulo de atrito, o qual assume valores correspondentes ao do próprio enchimento, isto é, de cerca de 10° a 20°, quando ele é suficientemente espesso e consistente para não se dar o contato entre as faces da rocha, no decorrer do processo de corte. Salienta-se o fato de ser comum a ocorrência de diáclases com ângulo de atrito inferior a 35°, ao qual corresponde o coeficiente de atrito $\tan \phi = 0,7$, valor este correntemente indicado por tabelas para os cálculos de segurança ao corte de maciços rochosos. Conclui-se que, no caso de ser ou não possível provar a existência de diáclases contínuas, ao longo das quais possam

dar-se escorregamentos, deve ser adotado coeficiente de atrito apreciavelmente inferior a 0,7, para dispor-se de uma margem de segurança satisfatória. Quanto à coesão das diáclases, o seu valor, além de baixo, apresenta como regra geral, dispersões muito elevadas, o que leva, na prática, a desprezá-la;

- no que diz respeito à caracterização da resistência ao corte das rochas, é necessário, na maioria dos casos, recorrer-se a ensaios "in situ". A seção utilizada em ensaios de laboratório é, comumente, da ordem de 0,5 m², logo insuficiente para a obtenção de valores representativos; corpos de prova maiores são normalmente antieconômicos;
- o valor do ângulo de atrito máximo das rochas é, em regra geral, salvo quando elas se encontram bastante alteradas, superior a 50°, valor ao qual corresponde um coeficiente de atrito $\text{tg}\phi = 1,2$, isto é, bastante superior ao valor de 0,7 acima referido. O ângulo de atrito residual, mesmo para rochas com um grau acentuado de alteração, apresenta valores não inferiores a 27°.

Quanto à coesão, as rochas podem apresentar valores bastante elevados, da ordem de 12 kg/cm² a 44 kg/cm², devendo notar-se que, em virtude das tensões ocorrentes nos maciços rochosos, nas obras de engenharia civil, serem muitas vezes baixas (da ordem de dezenas de quilos por centímetro quadrado), pequenos valores da coesão podem dar contribuições muito relevantes para sua segurança. Levantou-se, porém, a dificuldade de a coesão apresentar elevada dispersão, o que se compreende em virtude de tratar-se de grandeza muito influenciada pela fissuração da rocha, mesmo pelas microfissuras, donde resulta a adoção de coeficientes de segurança elevados na resolução de problemas práticos.

Deve-se considerar que as estruturas principais podem ser avaliadas através de ensaios de laboratório ou "no campo", mas as estruturas secundárias mais comuns nos maciços rochosos, notadamente naqueles de natureza sedimentar, são geralmente tratadas de maneira estatística e, normalmente, fornecem valiosas informações, particularmente sobre a orientação preferencial de uma determinada propriedade.

3.3.5 – INFLUÊNCIA DA ÁGUA

A água é um dos agentes responsáveis pelos inúmeros processos de instabilização de encostas, seja através de precipitações pluviométricas diretamente sobre o talude ou como consequência da elevação do lençol freático. Como se sabe, a água no interior do talude provoca um crescimento substancial na pressão neutra, com diminuição da pressão efetiva e, conseqüentemente, uma redução da resistência ao cisalhamento do material. O coeficiente de segurança de um talude natural sofre variações anuais, reduzindo-se no inverno e elevando-se na estação seca. A ocorrência de escorregamentos é, por isso, mais provável na época das chuvas, principalmente em anos de precipitações excepcionais. Por sua vez, num talude antigo, em cuja história já ocorreram anos muitos chuvosos, é pouco provável que uma precipitação pluviométrica excepcional constitua-se na causa única de um escorregamento. Ela poderá somente ser considerada como uma causa acessória (Terzaghi, K., 1951).

A importância do lençol freático já foi relacionada como uma das principais causas intermediárias de movimento de massa, no que diz respeito à elevação do nível piezométrico em terrenos homogêneos e descontínuos e/ou ao seu rebaixamento rápido, como também aos fenômenos de erosão regressiva ("piping"). Apesar do significado prático que poderia advir do conhecimento geral da superfície piezométrica, ainda não se dispõe de estudos sobre o seu comportamento, na Cidade do Salvador.

Observa-se que os desprendimentos, rupturas e outros acidentes com taludes naturais, geralmente ocorrem durante ou após os períodos chuvosos, ou naqueles em que há alternância de chuvas de grande intensidade com dias de sol, por alguns motivos abordados a seguir:

- devido ao acréscimo da infiltração com as chuvas, pode haver um aumento de peso próprio dos maciços que absorvem volume considerável de água;
- o aumento do teor de umidade corresponde, geralmente, a uma redução indesejável da resistência ao cisalhamento do solo, decorrente da saturação parcial ou total de cada camada, que elimina as tensões capilares responsáveis pela coesão

aparente do solo;

- durante os períodos de precipitações intensas e prolongadas, há uma elevação da cota do lençol freático, estabelecendo-se um fluxo em direção à face exposta do talude natural (encosta) ou artificial (corte). Esse fluxo gera pressões neutras que reduzem a resistência ao cisalhamento disponível nos solos, aquém dos valores já normalmente baixos;
- de um modo geral, os climas tropicais-úmidos favorecem os acidentes em taludes naturais, quer pela infiltração de águas pluviais, cujas conseqüências podem ser imprevisíveis, quer pela retração dos solos argilosos, durante o período de estiagem, que favorece a formação de fissuras, algumas delas podendo atingir grandes profundidades, reduzindo a superfície, ao longo da qual poderiam mobilizar-se as tensões existentes, até sua ruptura. Por outro lado, a perda de resistência de alguns solos, com o tempo, é favorecida pela alternância entre os períodos secos e os chuvosos, agravando-se o fato na medida em que os intervalos entre os períodos tornam-se freqüentes e, simultaneamente, a intensidade das chuvas e as elevações de temperatura atingem limites mais elevados. Esses aspectos tornam-se ainda mais desfavoráveis quando os solos são residuais e há superposição e/ou alternância de horizontes argilosos e arenosos.

3.3.6 – DRENAGEM

Além das condições climáticas e das características geológicas e morfológicas, a Cidade do Salvador é também carente de um sistema de drenagem superficial eficiente e disciplinado, o que vem contribuir para o desenvolvimento das situações descritas nos parágrafos finais do capítulo precedente.

A falta de uma planificação nesse setor age, sobretudo, em dois sentidos, quando se considera o problema de escorregamento de massa de solo e de rocha:

- provocando erosão nas encostas, onde o gradiente hidráulico é bastante acentuado, devido à energia de posição e à velocidade desenvolvida pelo fluxo das águas superficiais;

- incrementando a taxa de infiltração, nas partes mais elevadas, devido a uma série de barreiras impostas ao fluxo superficial, que retarda o escoamento das águas pluviais e possibilita uma saturação mais rápida das camadas e horizontes do perfil do solo.

Em virtude de não se ter conhecimento da existência de estudos globais do sistema de drenagem de águas pluviais de Salvador, excetuando-se alguns projetos e relatórios técnicos preliminares, e devido à falta de informações, tudo leva a crer que as galerias de águas pluviais foram assentadas quando da pavimentação das vias que cortam esses vales, não se conhecendo, às vezes, a sua bacia de contribuição.

A situação vem sendo agravada, em Salvador, devido ao elevado índice de crescimento e adensamento populacional, com a descaracterização da topografia e desnudamento dos morros, facilitando, com isso, os processos de erosão. Paralelamente, com as obras que vêm sendo executadas para implantação de novas vias, geralmente são modificados os taludes naturais e as calhas dos rios e córregos aí existentes, ocorrendo, freqüentemente, a redução e/ou estrangulamento das seções, diminuindo, em muito, a capacidade da descarga desses coletores, quando a modificação dos taludes quase sempre determina um agravamento de suas condições de estabilidade.

Constata-se que, nas áreas ocupadas pelas populações de baixa renda, existe ausência, quase total de um sistema de drenagem, enquanto, nas demais, a rede existente é deficiente, como fica evidenciado nos períodos de chuvas, quando várias ruas, inclusive de zonas centrais da cidade e avenidas de vale, ficam completamente intransitáveis, em conseqüência de alagamentos.

4 – PROBLEMAS DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS EM SALVADOR

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS INSTÁVEIS

- “Raramente a causa de um escorregamento pode ser atribuída a um único fator”.
(Terzaghi, K., 1950).

A Cidade do Salvador, devido às suas condições morfológicas, climáticas e sócio-econômicas, apresenta-se com características capazes de condicionar o movimento de massa de solo e de rocha, através de atuação de um conjunto de agentes predisponentes e/ou efetivos.

De um modo geral, pode-se observar que o deslocamento de materiais, em suas encostas, ocorre com certa freqüência, dentro de determinados tipos bem caracterizados e já definidos em parágrafos anteriores, quais sejam:

- Escoamentos (“creep”)
- Escorregamentos de solo
- Escorregamentos de solo e rocha

Assim, normalmente, os materiais desses desmoronamentos são, quase sempre, constituídos por solos residuais, contendo fragmentos e blocos de rocha com elevado grau de alteração.

A maior probabilidade de ocorrência desses fenômenos está associada às épocas de precipitações mais intensas e àqueles taludes naturais que, pela ação do homem, tiveram sua geometria original modificada, quer pela retirada de parte de sua massa da porção inferior, para construção de vias de escoamento, quer pela sobrecarga adicional na porção superior, causada pela construção de estruturas residenciais e urbanas que, de um modo amplo, não foram orientadas nem seguiram qualquer planificação.

Os movimentos de solo ocorridos na Cidade Baixa (Relatório da Comissão Especial para Indicação de Medidas Preventivas de Novas Calamidades em Salvador) estão restritos aos seguintes locais:

- Bonfim
- Uruguai

- Lobato
- Plataforma e Paripe.

Na Cidade Alta, os movimentos de solo são bastante freqüentes, mesmo em locais afastados da encosta da falha, assinalando-se ocorrências em quase todos os Bairros, dos quais as áreas mais afetadas têm sido:

- Garcia, Rio Vermelho, Vasco da Gama, Brotas, Cosme de Farias, Engenho Velho da Federação, Vale do Bonoco, Liberdade, Boa Vista do São Caetano, Rodoviária, Pau da Lima e áreas próximas do dique do Tororó, entre outras.

Esquemáticamente, pode-se dizer que as áreas instáveis, quanto a movimentos de solo, em Salvador, dividem-se em três grupos principais:

- área da escarpa de falha, caracterizada pela infra-estrutura de rocha metamórfica (granulito do embasamento), subjacente ao solo residual de espessura considerável. A rocha apresenta planos de fraturamento, dos quais o plano de contato solo/rocha e alguns sistemas de junta com mergulho para noroeste são determinantes de instabilidade. Essa área, especialmente na parte próxima ao “Corredor da Vitória”, apresenta problemas que envolvem conhecimentos de geomecânica, além de mecânica dos solos;
- avenidas de vale, implantadas predominantemente em solo residual, desenvolvido, portanto, a partir do substrato rochoso do embasamento. Ainda que algumas estruturas das rochas metamórficas tenham-se preservado nas camadas inferiores do solo, a abordagem dos problemas de rompimentos de talude pode ser feita essencialmente dentro dos critérios da mecânica dos solos;
- áreas de favela, possuindo como determinantes principais da instabilidade as próprias construções, implantadas na encosta, sobretudo pelo agravamento das condições de drenagem, aliadas ao carregamento dos bordos dos patamares escavados para as construções das habitações. Esta é uma “agressão à natureza, em que os moradores são causa e as maiores vítimas

dessa agressão". (Costa Nunes, A. J. — Relatório à Prefeitura de Salvador, 1971). O tratamento do problema, nessa área, envolve aspectos sociais e políticos importantes, além dos problemas puramente técnicos, uma vez que qualquer solução racional deverá estar ligada, primariamente, à remoção das habitações. A estabilidade da área, com a permanência da favela, determinaria certamente custos mais elevados que a relocação dos favelados em habitações de baixo custo, com melhores condições de conforto e de segurança.

4.1.1 — ESCARPA DE FALHA

Devido à importância econômica que representa para pesquisa de petróleo, a Bacia Sedimentar do Recôncavo motivou diversos trabalhos geológicos sobre sua configuração e evolução, buscando explicar, através de várias hipóteses, as principais feições estruturais existentes, entre as quais destaca-se a grande Falha de Salvador, que constitui o limite de seu bordo leste.

Estudando a configuração estrutural da bacia, BARNES (op. cit.), baseando-se em mapas geológicos, dados de subsuperfície (testemunhos de poços de petróleo e perfilagem sísmica e elétrica) e nos estudos de Prevost (1930-1934) para as bacias carboníferas da Europa, descreveu o Recôncavo como um "Graben" assimétrico, cortado por grandes falhas escalonadas, constituindo, assim, uma bacia fechada, limitada por falhamentos, nos flancos.

De acordo com o mencionado autor, nos primórdios do Jurássico estabeleceu-se uma depressão nos terrenos pré-cambrianos e que se entulhavam com os sedimentos terrígenos provenientes da erosão das elevações vizinhas, formando uma bacia de subsidência cujo fundo deprimia-se à medida que os sedimentos se acumulavam. Depositaram-se, nessa fase de subsidência, sem falhamento, o Grupo Brotas e a Formação Itaparica do Grupo Santo Amaro, que constituem a seqüência inferior da bacia. Em virtude da continuada subsidência, o limite elástico do embasamento foi ultrapassado; este se falhou em quatro grandes blocos principais, existindo uma infinidade de falhas secundárias de acomodação.

O limite oriental da estrutura é formado pela Falha de Salvador, com um rejeito de mais de 5.000 m, associando-se-lhe importante

cunha de fanglomerado.

As falhas pós-Itaparica estiveram ativas, também, durante a deposição das formações Candeias, Ilhas e São Sebastião, que compõem a seqüência superior da bacia.

A presença de fácies fanglomerado, associada ao falhamento leste da bacia, revela, de acordo com Chignone (1974), uma atividade tectônica progressiva nesse setor, havendo um soerguimento relativo do "Horst" de Salvador, o qual foi mantido em equilíbrio com o entulhamento do "Graben".

A variação de espessura apresentada nas unidades isocronológicas de uma mesma formação da seqüência superior e as súbitas mudanças de fácies, apresentadas por essa seqüência, sugerem uma velocidade desigual de movimentação, para os blocos falhados, e a subsidência irregular dos mesmos.

Quanto aos aspectos mecânicos, ocasionados por falhamentos, há uma tendência atual de relacionar os problemas encontrados no campo com aqueles reproduzidos em laboratório, guardando, entretanto, as proporções da escala, vez que os fenômenos naturais são normalmente em escala regional. Dentro desse conceito, os falhamentos são comparados a fraturas de cisalhamento, de sorte que alguns autores, como Griggs e Handin (1960), utilizaram, em seus trabalhos, o termo falha para fraturas de cisalhamento verificadas em ensaios realizados com corpos de prova.

Anderson (1951), com base nas teorias de Coulomb e Mohr, estudou e classificou a magnitude relativa das tensões e deformações, nos falhamentos ditos normais, ou seja, aqueles que têm um plano de mergulho igual ou inferior a 45° , e o bloco inferior movimentou-se para baixo em relação ao superior. De acordo com suas observações, associados ao falhamento normal ocorrem fraturamentos, em um ou mais planos, formando pares conjugados que seccionam a direção do esforço intermediário, são igualmente inclinados e formam ângulos menores que 45° com a direção do esforço principal.

Sendo a superfície da terra uma superfície livre, sujeita apenas à pressão atmosférica, nos falhamentos normais, em que o esforço principal é vertical, são reduzidos os esforços horizontais.

A direção de atuação dos esforços irá condicionar o sistema de juntas e a compartimentação do maciço rochoso. Nas proximidades da área afetada pelos falhamentos, na Cidade do Salvador, os granulitos e outras rochas do Embasamento apresentam, em geral, bandeamentos mineralógicos de direção muito variável, sendo que a direção predominante está entre N-S e N50°E, com planos de mergulhos também variáveis. Essas variações são uma consequência dos falhamentos sofridos pelas rochas durante sua história geológica.

Próximo à escarpa da Falha de Salvador, as rochas são, em geral, cisalhadas, formando, freqüentemente, material milonítico pulverizado. As fraturas são orientadas em várias direções e sua concentração cresce com a aproximação da escarpa.

O estudo estatístico das fraturas, mostrado no desenho 03, evidencia a predominância do sistema NE. A análise de freqüência das fraturas mostra, também, a existência de sistemas mergulhando contra a escarpa, com orientação NE ou SE, e de sistemas que mergulham para NW, a favor da encosta. A interseção dos planos do segundo sistema com o plano de escarpa de falha forma cunhas de abatimento que favorecem o desmoronamento do material rochoso, tornando essa zona potencialmente instável quando se consideram os problemas de escorregamento de massa de solo e de rocha.

Ao longo das fraturas no granulito, é comum encontrar-se materiais de granulação muito fina, de cor preta, com espessuras variáveis e que são classificados como milonitos. Freqüentemente, observam-se planos espelhados, ao longo dessas superfícies, que constituem planos de menor resistência.

A importância dos falhamentos, que afetam a estabilidade dos taludes naturais, tem sido enfatizada por diversos autores. Guidicini e Nieble (op. cit.) citam os seguintes fatores, relacionados com falhamentos, como os de maior contribuição para o estudo dos movimentos de massa de solo e de rocha nas encostas:

- os falhamentos possuem grande continuidade, influenciando, assim, grandes massas;
- possuem baixa ou nenhuma coesão e as características de resistência devem-se, muitas vezes, à natureza do material de

preenchimento;

- possuem, em geral, poucas irregularidades de superfície;
- modificam profundamente as condições de permeabilidade do maciço, em qualquer sentido;
- propiciam um avanço rápido da alteração por intemperismo.

O falhamento que atingiu o embasamento cristalino da Cidade do Salvador apresenta-se com todas as características relacionadas como fatores condicionantes desse tipo de estrutura para a movimentação de solo e rocha.

Por suas dimensões e continuidade, afeta grandes massas de rocha. As fraturas preenchidas por material fino, argiloso, tendem a diminuir o valor do atrito interno, para valores equivalentes ao do próprio enchimento, ou seja, em torno de 10° a 20°. A existência de planos de fissura confere, ao maciço rochoso, uma coesão baixa e uma dispersão muito grande, podendo, na prática, ser desprezada.

Devido à freqüência com que ocorrem, os planos espelhados agem, também, no sentido de diminuir o atrito interno entre os planos de diáclase.

A permeabilidade secundária, originada pelos planos de fratura no granulito que aflora próximo à escarpa de falha, age de diversas maneiras, sendo que os aspectos mais importantes são os resumidos a seguir:

- todos os dados sobre ensaios de cisalhamento mostram que, um mesmo material, sujeito a ensaios nas condições úmida e saturada, apresenta, para esta última, resultados sistematicamente inferiores. O teor de umidade atua sobre a coesão, reduzindo-a;
- como já enfatizado, a água é um dos principais fatores no desencadeamento de processos de instabilidade, podendo atuar de diversas maneiras. Por exemplo, o fluxo subterrâneo, em direção à face exposta do talude, pode sofrer represamento, devido à existência de materiais naturais ou artificiais,

situados nas cotas inferiores, criando subpressões capazes de provocar o deslocamento de massa de solo e de rocha;

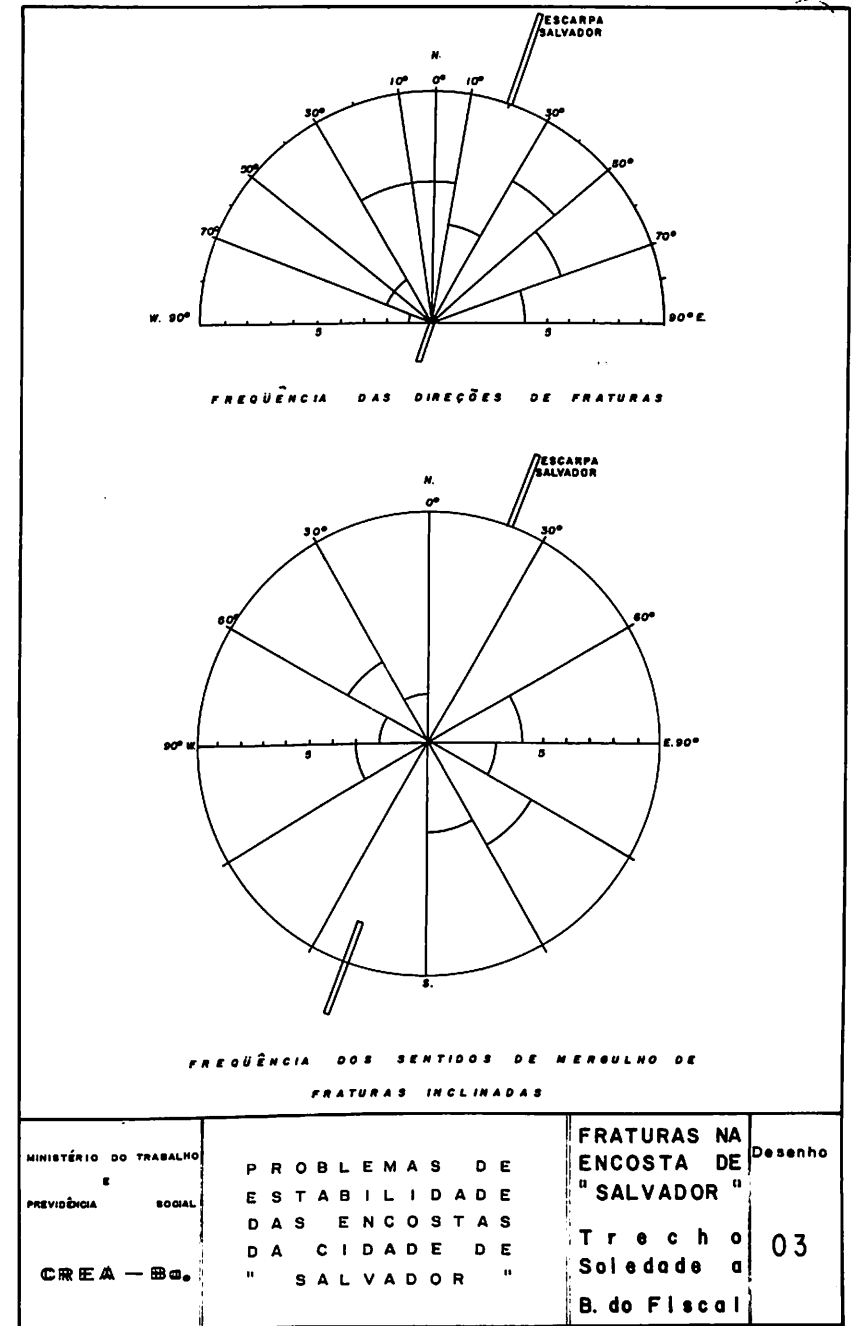
— verifica-se, em alguns locais, a deposição de argilas do tipo montmorilonita (relatório Consórcio SERETE-SOFRETU) nos planos de fratura, por infiltrações facilitadas pela permeabilidade secundária da rocha.

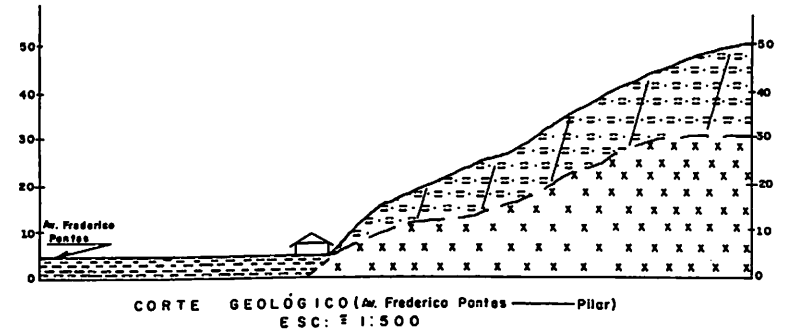
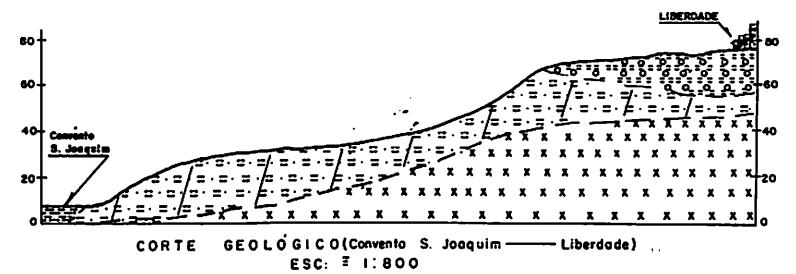
O avanço rápido do intemperismo, facilitado possivelmente pelas condições de falhamento aliadas ao clima da Cidade do Salvador, zoneou o solo residual em horizontes com diferentes características, não só de resistência como também de permeabilidade (Cortes geológicos esquemáticos — Desenho 04).

Em virtude desse zoneamento, é comum que movimentos de massa, geralmente com pequena profundidade e grande extensão, ponham a descoberto, nas encostas, os horizontes de material mais grosseiro, de baixa coesão e com permeabilidade elevada, que passam a ser rapidamente destruídos pela erosão, continuando, quando cuidados adicionais não são tomados, o processo de degradação das encostas.





Merece referências especiais a presença de blocos e matacões de granulito ou, mais freqüentemente, de rochas resistentes ao intemperismo, como veios de quartzo/feldspato, que crescem em tamanho e em freqüência nas proximidades da interface entre a rocha regional e o solo residual. Apesar de constituírem vestígios da rocha original, quando nas vizinhanças de um talude, eles são, via de regra, deslocados por movimentos de massa anteriores, que deformaram toda a estrutura do solo, muitas vezes deixando dúvidas quanto ao processo que motivou sua acumulação. Tendo densidade elevada, os matacões conferem maior peso ao volume de material.

Casos de movimentos de massa de solo têm sido comuns ao longo da encosta da Escarpa de Falha de Salvador. Geralmente, eles se resumem a determinados tipos básicos: escoamentos (creep), que geralmente antecedem a movimentos mais bruscos, escorregamentos de solo e, mais raramente, escorregamentos de solo e rocha. É muito comum sua ocorrência onde fenômenos semelhantes, verificaram-se.





C O N V E N Ç Õ E S

-  AREIAS, ARGILAS e DEPÓSITO DE TALUS.
-  AREIAS, FOLHINHOS DA FORMAÇÃO BARREIRAS.
-  SOLO RESIDUAL.
-  ROCHAS DO EMBASAMENTO

MINISTERIO DO TRABALHO
E
PREVIDENCIA SOCIAL
CREA - Bco.

PROBLEMAS DE
ESTABILIDADE
DAS ENCOSTAS
DA CIDADE DE
" SALVADOR "

CORTES
GEOLÓGICO

Desenho
04

Pelas suas proporções, merecem destaque os escorregamentos observados em Santo Antônio (Túnel Américo Simas), Baixa do Fiscal, São Joaquim e, mais recentemente, na Ladeira da Montanha, com sérios danos materiais e sacrifício de vidas.

Estudando o comportamento da escarpa de falha em termos de movimento de massa de solo e rocha, observa-se, como norma geral, que a construção nessa área deveria ter sido sempre precedida por um estudo cuidadoso, visando a determinação da resistência do maciço rochoso e de considerações de suas características, na previsão da segurança das obras.

Verifica-se, entretanto, que, de maneira aleatória e baseando-se apenas em dados de algumas sondagens que atingiram o material impenetrável à percussão, grandes edifícios residenciais e comerciais estão com suas fundações apoiadas nessa zona de falhamento, merecendo destaque, pelas suas proporções e pela concentração de carga, aqueles situados no "Corredor da Vitória".

4.1.2 – AVENIDAS DE VALE

As avenidas de vale foram a solução encontrada para o tráfego da cidade, anteriormente congestionado em vias não dimensionadas para as condições atuais. Estão implantadas em vales desenvolvidos sobre solos residuais de espessura considerável, que apresentam raramente afloramentos da rocha matriz, e caracterizados por um talvegue de inclinação bastante reduzida. Destes, destacam-se, sem dúvida, os vales da bacia do Camaragipe e do Rio Lucaia (Rio Vermelho), onde se implantaram as avenidas que hoje constituem um importante ramo do sistema viário.

Da implantação das avenidas, decorreu a valorização imobiliária das áreas próximas, traduzidas pela crescente ocupação do solo. Em decorrência das obras efetuadas para a implantação das avenidas e das construções nas áreas marginais, ocorreu a alteração das condições naturais das encostas, através da remoção da vegetação que protegia os taludes e da modificação das condições de drenagem, além das construções que, via de regra, aumentam sensivelmente a inclinação original da encosta.

As encostas não são, geralmente, por si mesmas instáveis. O solo tem comportamento razoável e, embora apresentando localmente estruturas preservadas da rocha subjacente, que condicionam planos preferenciais- de escorregamento, pode ser considerado, quanto a problemas de estabilidade, como predominantemente homogêneo ou, como foi dito, seus fenômenos de movimentação podem ser tratados dentro da área da mecânica dos solos. A instabilidade de vários pontos da área das avenidas de vale é, porém, muito mais que uma consequência de sua geometria ou infra-estrutura geológica, uma função da alteração das condições naturais, quando não foram tomadas medidas preventivas convenientes. Aqui devem ser principalmente considerados os problemas de drenagem e de erosão, que têm sido a causa dos movimentos mais importantes de solo nas áreas marginais das avenidas de vale.

Entre as áreas que têm apresentado problemas de estabilidade, vale destacar as encostas que margeiam o sistema do vale dos Barris ou, melhor dito, o dique do Tororó, a avenida Vasco da Gama, Brotas, Egenho Velho e Rodoviária. Os problemas de erosão e, especialmente, de drenagem são ainda muito mais generalizados, tendo ocorrido em quase todas as áreas onde se processou o taludamento por corte, sem a necessária proteção, ou onde ocorreu obstrução do sistema de drenagem natural, muitas vezes já naturalmente problemático por força do insuficiente gradiente hidráulico dos rios. Os mais graves problemas de drenagem têm sido os da avenida Vasco da Gama e alguns pontos do sistema do vale do Camaragipe e da avenida Centenário.

4.1.3 – FAVELAS

A favela é, muito mais, um problema de natureza sócio-econômica do que técnica; não é restrito à Cidade do Salvador e, tampouco, às cidades brasileiras. No que compete ao presente trabalho, interessa especialmente o seu estudo, quando a favela interfere na estabilidade do local, do ponto de vista geotécnico.

A ocupação das encostas explicou-se por sua localização próxima a infra-estruturas urbanas consolidadas e por serem áreas "disponíveis" do ponto de vista imobiliário, isto é, áreas onde as classes mais favorecidas economicamente, por uma questão de

segurança, geralmente não constroem.

A implantação dos barracos das favelas nas encostas é feita sobre patamares escavados no talude natural. O material do corte é lançado na borda do talude, quase sempre com o objetivo de aumentar a área conquistada para a construção. Assim, há um agravamento das condições de estabilidade, pelo carregamento dos bordos dos patamares construídos e/ou pelo material retirado do corte (Fotos).

A isto se somam as condições de drenagem: além da interrupção do sistema de drenagem natural, ocorre, invariavelmente, a construção de fossas primitivas nos taludes, para onde são lançadas todas as águas pluviais e servidas. Há ainda a considerar que as vias de acesso, assim como as áreas vizinhas aos barracos, não são impermeabilizadas, o que aumenta a infiltração das águas pluviais no corpo do talude. As consequências desses fatores de instabilidade já foram abordadas em capítulo anterior, mas, resumidamente, poder-se-ia considerar, tendo em vista a área de encostas da cidade atualmente ocupadas pelas favelas, como sendo estas o fator mais freqüente de instabilização das encostas.

Considerando-se a densidade populacional das áreas de favela e os riscos a que se submetem os seus moradores, pode-se compreender a importância do problema que, como foi dito, deverá encontrar sua solução na área político-sócio-econômica, muito mais facilmente que na área essencialmente técnica.

4.2 – CASOS DE MOVIMENTAÇÃO DE MASSA, EM SALVADOR

Os problemas de movimentação de massa, nas encostas de Salvador, documentados na tese de Peixoto, Célia (1968), são bastante antigos, estando registrados nas Cartas de Vilhena, citados pela autora:

"Durante o inverno de 1795 rolaram treze casas, de uma só vez, da Montanha (atual ladeira do passo) em direção ao forte de São Francisco, a beira-mar; ainda durante o mesmo inverno, outras sete casas escorregaram". "Outro desabamento ocorreu em 1.º de julho de 1797; em virtude de um grande e continuado

inverno, caiu o resto de uma muralha, que a Irmandade dos Clérigos mandara levantar no cimo da montanha escarpada".

Após este último acidente, que soterrou 15 casas e muitas pessoas, o presidente do Senado, o Dr. Francisco Antônio Maciel Monteiro, tomou as providências necessárias para a segurança das casas, fazendo uma inspeção, mandando demolir todos os edifícios que se encontrassem em perigo, e proibindo, para sempre, a construção no cimo ou na "Rampa da Colina". Vilhena conclui dizendo que estes foram os acontecimentos mais recentes e que anteriormente se sucederam muitos iguais em diversas paragens.

Os casos de movimentação de massa, a seguir apresentados, servem para melhor ilustrar o problema de instabilidade das encostas na Cidade do Salvador.

4.2.1 – ENCOSTA NOROESTE DO TÚNEL AMÉRICO SIMAS

Na noite do dia 27 de abril de 1971, após as chuvas excepcionais que, nos três dias anteriores, atingiram 500 mm de precipitação, ocorreu um escorregamento de grandes proporções na encosta situada a NW do túnel Américo Simas. O volume do material deslocado foi estimado em mais de 1.500 m³ e afetou a parte posterior das casas situadas à rua Joaquim Távora, de n.ºs 106 a 128. Como consequência do escorregamento, ficaram interditados o túnel e parte do trânsito pela avenida Frederico Pontes. O frigorífico da Caseb sofreu pesados danos materiais.

A área era reconhecidamente instável, já tendo ocorrido problemas que determinaram a construção de estrutura de contenção a montante da saída do túnel.

O desmoronamento apresentava a forma clássica de uma superfície cilíndrica e largura máxima de cerca de 42 m.

O material deslocado constituía-se de solo superficial argilo-arenoso, incluindo parte superficial da rocha completamente alterada.

A superfície inferior do escorregamento achava-se acima da

cota 30m, e esse nível foi, aparentemente, controlado pela cortina de contenção existente, além da presença da rocha, que resistiu ao deslocamento.

As rochas granulíticas da área do túnel Américo Simas, como aliás em toda a encosta de falha, acham-se fraturadas, tendo sido observados no local, como sistemas principais, N 10° E vertical, N 40° E, 70° NW, N 35° W, 80° NE e fraturas subhorizontais com mergulho para NW. Este último sistema acompanha a superfície inferior do escorregamento.

A encosta estende-se da rua Joaquim Távora (lado superior) à avenida Frederico Pontes (Cidade Baixa), apresentando um talude natural de cerca de 45°. As edificações a montante da encosta constituem-se de casas residenciais antigas. A jusante, encontram-se, principalmente, depósitos e casas comerciais. As casas a montante da rua Joaquim Távora têm, quase sempre, testadas inferiores a 5m. Como se pode ver nas fotos anexas, só na faixa correspondente à parte superior da concha de escorregamento há 12 casas de (108 a 128) numa linha não maior que 52m. Além disso, essas casas constituem-se de construções antigas e possuem, todas elas, em número bem elevado de moradores. As tubulações de esgotos descarregam invariavelmente na encosta. Somente na borda superior do escorregamento, contam-se oito tubulações rompidas. Essa considerável descarga de águas servidas é acrescida sensivelmente pelas águas pluviais que também escoam pela encosta, não havendo valetas, coletores ou qualquer outro tipo de dispositivo de escoamento dessas águas.

A encosta NW do túnel Américo Simas apresenta os mesmos aspectos geológicos e geotécnicos de outros pontos da cidade como, por exemplo, a encosta da Avenida de Contorno.

Na parte superior, verifica-se a presença de material de cor amarela e cinza, com pouco mais de 1m de espessura, constituído possivelmente de aterro sobre o qual se acham as edificações residenciais. É nesse material que se acham encravadas as tubulações de águas servidas.

Sob essa camada superficial, aparecem sedimentos argilosos que constituem o solo superficial, de coloração amarela até ver-

melha. Na parte inferior, estruturas de rochas originais ainda são preservadas. O solo, cuja espessura é de ordem de 25m, resultou da alteração total das rochas gnáissicas e granulíticas e apresenta aspecto mais ou menos homogêneo.

Abaixo dessa camada, aparece rocha granulítica e gnáissica totalmente intemperizada. São materiais de cor branca a rósea, caulínicos, com estrutura da rocha original ainda preservada.

Em nível inferior e separadas da rocha totalmente intemperizada por uma superfície bem definida, aparecem as rochas inalteradas ou muito pouco alteradas, constituídas de gnáisses e rochas granulíticas. Essas rochas são constituídas dos minerais quartzo e feldspato, principalmente, além de mica e outros minerais em quantidade menor. A alteração dos feldspatos produz o material argiloso que predomina nos solos superficiais e residuais sobrejacentes. Essas rochas granulíticas estão fraturadas por vários sistemas de fratura anteriormente citados. Ao longo das fraturas, em alguns lugares, pode-se verificar indícios de minerais micáceos e argilosos.

Sobre essas rochas, na encosta, acumulam-se materiais de diversas naturezas, lançados pelos moradores do local.

As causas que provocaram o fenômeno foram, provavelmente, as mesmas dos rompimentos em encostas de Salvador, em geral: precipitação anormalmente alta nos dias antecedentes ao fenômeno, declividade muito elevada da encosta, propriedades do material e condição de drenagem. Além dessas causas, um condicionamento geológico: a superfície de escorregamento coincide com a superfície de contato entre a rocha alterada e o "solo". Essa superfície, definida pela capa superior de alteração da rocha, apresenta uma caolinização evidente. A direção do escorregamento corresponde, a grosso modo, com o plano de fratura dominante que, no local, coincide com a superfície superior da camada de alteração da rocha.

Como medidas preventivas sugeridas para a estabilização, algumas das quais já foram implantadas, assinalam-se:

- Limpeza
- Impermeabilização ou gramagem da área da encosta
- Drenagem das águas pluviais e servidas
- Construção de cortina de contenção.

4.2.2. – AVENIDA FREDERICO PONTES

Encosta W – Edifício nº 231 – ANCARBA.

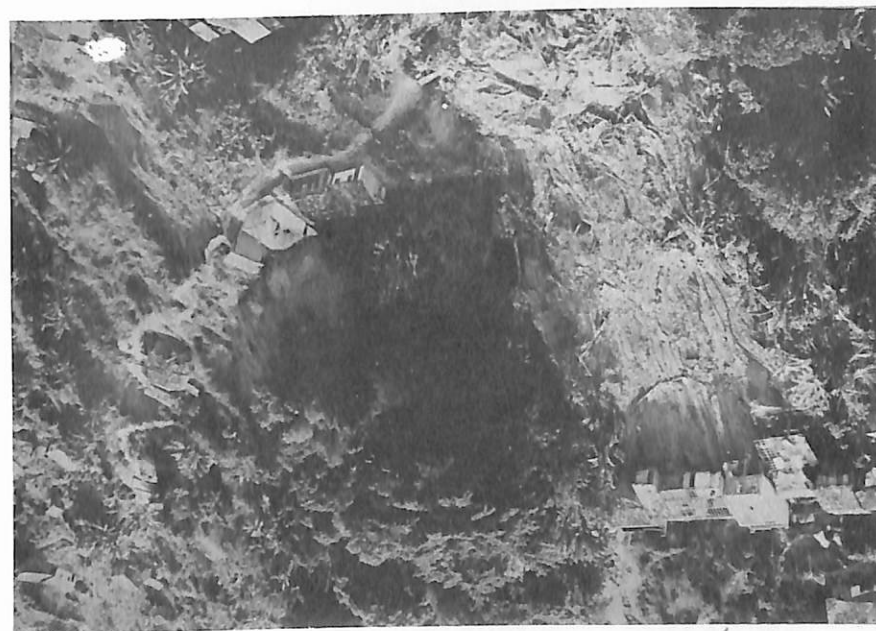
Edifício situado à avenida Frederico Pontes. A encosta vem apresentando sucessivos rompimentos de taludes, com mais gravidade nos anos de 1971, 1972 e 1978, sempre após as chuvas de abril a junho. Nas rupturas ocorridas em 1972 e 1978, o material deslocado, constituído principalmente de solo e rocha decomposta, atingiu a parte inferior do edifício, destruindo a parte posterior, prejudicando as instalações hidráulicas e sanitárias, comprometendo o funcionamento das unidades situadas no pavimento térreo. Não houve vítimas em nenhum dos acidentes, sendo os prejuízos apenas de ordem material.

O talude onde ocorreu a ruptura apresenta uma inclinação média de 40/50°. Na parte inferior, afloram granulitos de Embasamento Cristalino. A espessura no solo é da ordem de 10m.

Na encosta constata-se a presença de favelas, habitações sem infra-estrutura urbana e constituídas a partir da escavação do solo da encosta e deposição do material na borda do corte, o que constitui mais uma agravante das condições, por si mesmas já instáveis, da área. Não existe qualquer sistema de drenagem. As águas, pluviais ou servidas, são lançadas diretamente no talude.

A rua São Francisco de Paula, situada a montante da encosta, encontra-se com sua pavimentação bastante irregular, havendo pontos sem calçamento, onde ocorre infiltração considerável de águas pluviais.

Próximo às habitações, assinalam-se sinais evidentes de movimentação, que já afetou a maioria das casas, onde se notam fissuramentos nas paredes e pisos. A rocha que aflora na parte de jusante do talude apresenta-se bastante alterada, na parte superior, e com vários planos de fratura, nos quais o mais importante tem a direção N 10° E e mergulho local para NW, isto é, na direção da encosta, favorecendo, portanto, o deslocamento do material. São freqüentes, ainda, os sistemas de junta segundo os Planos N 70° W vertical, N 20° W subvertical e N 55° E com mergulho de 50° NW.



Escorregamento típico de erosão em agrupamentos tipo "favelas".

Há uma evidente intercomunicação entre os sistemas de juntas, traduzida pela considerável quantidade de água que escoar após as chuvas. A desagregação dos blocos é bastante intensa.

Como material de enchimento de juntas, foi assinalada, em alguns locais, a presença de material argiloso, identificado a partir de análise termodiferencial e de difratometria, como se enquadrando no grupo dos minerais de argila do tipo montmorilonita ou, mais precisamente, hectorita. Essa ocorrência parece ter significação apenas local, pois ainda não foram assinalados minerais desse tipo em outros pontos da escarpa de falha. A vegetação que cobre o talude é bastante irregular, predominando, porém, o capim tipo "Colonhão" com raízes bastante superficiais e folhas muito desenvolvidas, não funcionando, portanto, como proteção para o talude.

Algumas plantas de maior porte indicam o deslizamento superficial que se processa na encosta. Em resumo, as condições da área forçosamente conduzem à instabilidade, seja pela sua geometria, pelo revestimento vegetal, pelas habitações — favelas —, ou pela drenagem imprópria, agravada pela contribuição das águas pluviais provenientes da rua São Francisco de Paula e que se infiltram, em grande parte, no solo residual sobrejacente ao granulito da encosta.

Como solução proposta, indica-se:

- remoção da favela
- tratamento vegetal da superfície do talude
- recuperação da pavimentação
- construção de obra de contenção.

4.2.3 – AVENIDA DE CONTORNO

A área apresenta condições de instabilidade que determinaram o rompimento de taludes e, posteriormente, a construção de obras de contenção.

Uma ruptura, de grandes proporções, ocorreu durante a construção de uma cortina, após as chuvas de maio de 1969.

O rompimento do talude resultou em grandes prejuízos materiais — tombamento da cortina atirantada em execução e na perda de vida de operários que se encontravam na obra.



Escorregamento típico de erosão em agrupamentos tipo "favelas".

O trecho da encosta localiza-se entre a Avenida de Contorno, na parte inferior, e a Avenida Mauá, na parte superior. O talude é parte da escarpa de falha e apresentava uma inclinação máxima de cerca de 60° (Fotos).

O material deslocado era constituído principalmente de solo residual e blocos de rocha alterada. Na parte inferior, verificam-se afloramentos do Embasamento Cristalino, constituídos essencialmente de granulitos. A rocha apresentava-se bastante fraturada, aparecendo como planos mais importantes, no local do acidente, as direções 10° e 15° NE com mergulho de 40° W.

Acima do solo residual, foi constatada a presença de solo areno-silto-argiloso, provavelmente aterro.

O volume de material deslocado foi de cerca de 800m³. A precipitação no dia anterior ao acidente, excepcionalmente elevada, tendo ultrapassado os 100mm, possivelmente foi a causa principal do acidente, sobretudo considerando-se o fato de não existir proteção superficial ou sistema de drenagem que diminuísse a possibilidade de infiltração das águas pluviais.

A construção posterior das obras de contenção estabilizou o maciço.

4.2.4 – BAIXA DO FISCAL

Em junho de 1968, ocorreu uma movimentação de solo e de rocha na encosta que domina a Baixa do Fiscal, no trecho compreendido entre as Ruas Pereira Franco e Coronel Pedro Ferrão.

O perfil de intemperismo sobre a rocha regional apresentava uma espessura de aproximadamente 20m, podendo ser assim caracterizado:

- um horizonte superior, com espessura entre 3m e 5m, com textura silto-areno-argilosa, devido à lixiviação constante dos minerais de argila para níveis inferiores. Apresenta uma capacidade média de suporte da ordem de 0,1 kg/cm² e con-

tém níveis de matéria orgânica;

- um horizonte silto-argiloso, mostrando a estrutura da rocha matriz, com grande proporção de óxido de ferro que funciona como provável cimento entre os grãos de minerais. Apresenta ângulo de atrito interno em torno de 26° e uma coesão de $0,5t./m^2$.
- um horizonte de seixos e matacões, embebido em matriz argilosa e/ou siltosa com permeabilidade elevada em relação aos anteriores.

A rocha original, granulito ácido, encontra-se intensamente cisalhada, sendo que as direções dominantes dos sistemas de junta e diáclase, observadas no local, foram $N 50^\circ E$ e $N 15^\circ E$, com mergulhos de $50^\circ W$ e $70^\circ E$. O granulito encontrava-se cortado por veios ácidos e básicos que, de um modo geral, apresentavam direção concordante com os principais sistemas de fratura.

A parte superior da encosta era, desordenadamente, ocupada por população de baixa renda, sendo que as casas estendiam-se até suas bordas; várias delas ruíram e foram deslocadas quando o acidente ocorreu.

A cunha deslocou-se com a formação de uma superfície cilíndrica, tendo sido precedida por movimentação lenta, como atestaram várias cicatrizes existentes no solo local, anteriores ao deslocamento da massa de solo e de rocha, bem como rachaduras nas paredes das casas edificadas na porção superior da encosta. O plano inferior de deslocamento coincidiu com o horizonte de blocos da rocha, seixos e matacões na base do talude natural, entre o solo e a rocha.

A interação de diversos fatores foi responsável pelo deslizamento de terra na Baixa do Fiscal e, entre eles, como na maioria dos casos ocorridos em Salvador, destacam-se:

- geometria do talude natural;
- zoneamento de materiais com permeabilidades diferentes;
- estruturação do maciço, devido a relíquias das feições da rocha regional;

- condições de drenagem superficial deficientes;
- ocupação desordenada do solo;
- precipitação pluviométrica anormalmente elevada.

Como medidas preventivas, sugeridas para estabilização do talude da Baixa do Fiscal, foram assinaladas:

- suavização da porção superior do talude;
- implantação do sistema de drenagem das águas pluviais e servidas;
- evitar a remoção do material deslocado da parte jusante do talude, onde sua presença não condicionava empecílio às
- atividades urbanas;
- disciplinar a construção;
- instrumentar a encosta.

5 – RECOMENDAÇÕES

Do exposto neste relatório, considera-se indispensável, para o devido equacionamento dos problemas de estabilidade de encostas na Cidade do Salvador:

1º) a institucionalização de um órgão técnico com o devido respaldo jurídico-financeiro, capacitando-se para funcionar efetivamente de modo contínuo e permanente. Tal órgão teria, entre outras, as seguintes atribuições:

- a) promover e/ou coordenar, licitar e fiscalizar trabalhos, estudos e investigações ligadas aos problemas de encostas da Cidade do Salvador;
- b) analisar, aprovar ou rejeitar todos os projetos de loteamento e/ou de construções localizados nas áreas consideradas críticas em relação a problemas de estabilidade;
- c) elaborar normas e especificações técnicas para construções em áreas de encosta;
- d) promover o intercâmbio técnico e científico com instituições e/ou firmas especializadas nesse setor, no país, especialmente com o Instituto de Geotécnica da Guanabara;
- e) sugerir a intervenção do poder público para desapropriação, interdição e/ou desocupação de áreas críticas.

Esse órgão poderia ser supervisionado por um Conselho Diretor, presidido por um representante do órgão e constituído de conselheiros representantes, entre outras, das seguintes entidades:

- Governo Federal
- Governo Estadual
- Governo Municipal

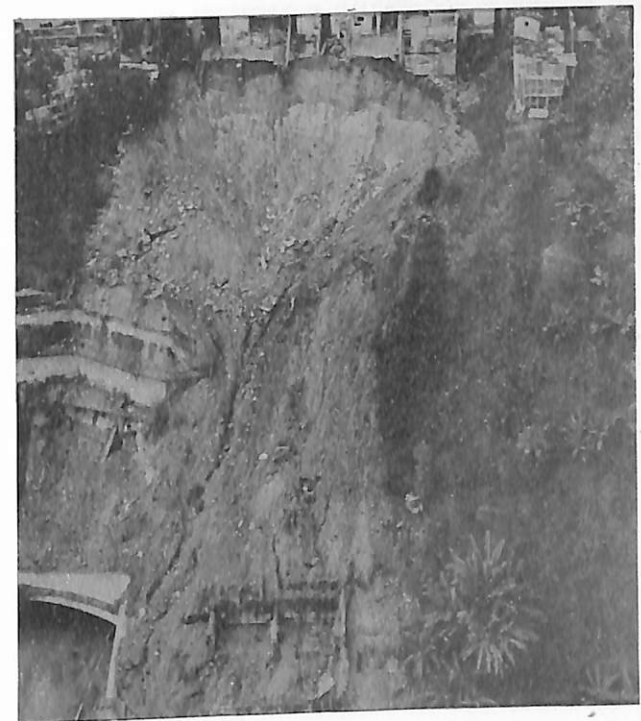


Escorregamento sobre o túnel Américo Simas.

- Universidade Federal da Bahia
- Clube de Engenharia da Bahia
- Associação de Geólogos da Bahia
- Associação dos Engenheiros Agrônomos da Bahia
- Instituto dos Arquitetos
- Instituto de Patrimônio Histórico Nacional
- Associação Comercial da Bahia
- CREA-BA

2º) pela sua importância, em relação aos problemas de escorregamento das encostas da Cidade do Salvador, sugere-se que sejam efetuados, de imediato, os seguintes trabalhos:

- identificação e cadastramento das áreas mais críticas quanto à estabilidade de taludes naturais e de cortes, visando estabelecer uma ordem de prioridade nas obras de estabilização a serem executadas;
- elaboração de um Plano Diretor de Drenagem para a Cidade do Salvador.



Escorregamento sobre o túnel Américo Simas.

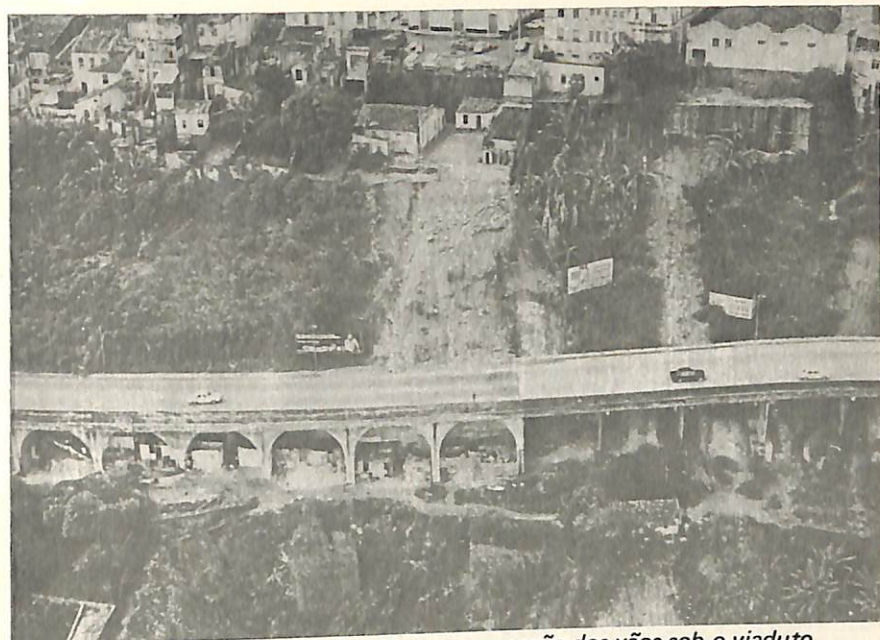
6 – CONCLUSÕES

- 1 – Os escorregamentos em taludes naturais e/ou de cortes, na Cidade do Salvador, são cíclicos, inevitáveis nas condições atuais, tendem a tornar-se mais freqüentes à medida que aumenta a densidade das construções nas áreas críticas e sua intensidade causará reflexos econômicos e sociais cada vez maiores, enquanto não forem tomadas medidas preventivas, de caráter definitivo.
- 2 – A estabilização das encostas da Cidade do Salvador, à semelhança de qualquer outra cidade com problemas idênticos, requer estudos especializados e envolve custos de tal monta que não pode ser enfrentada e executada apenas com recursos do município e a curto prazo. No entanto, quanto mais o Poder Público retardar a decisão de enfrentar o problema, mais freqüentes e mais graves tendem a ser os acidentes. Conseqüentemente, maiores os custos das soluções e mais intenso o impacto social do problema, com o sacrifício de vidas. O encaminhamento das recomendações aqui apresentadas deve, portanto, ser objeto de ação imediata por quem de direito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATTEWELL, P. B. & FARMER, I. W. Principles of engineering geology. Londres, Chapman and Hall, 1976.
2. BAHIA. GEOTÉCNICA S/A. Relatório final do projeto de acompanhamento de estabilização de cortes na rodovia canal do tráfego. Salvador, 1976.
3. BARNES, B. E. Problems of relationship between tectonics and sedimentation in the reconcavo. Salvador, PETROBRÁS/DIREX/RPBA, 1949.
4. BROMS, Bengt B. Landslides. In: — Foundation engineering handbook. s.l., Winterkorn H. F. & Fang, s.d.
5. CHIOSSI, N. J. Geologia aplicada à engenharia. São Paulo, UFSP, 1978.
6. CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 3., Denver, 1974.
7. CRUZ, P. T. Estabilidade de taludes. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1970.
8. FREIRE, E. S. de Magalhães. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Rio de Janeiro, 1965.
9. GIUDICINI, J & NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo Editora Edgard Blucher. 1976.
10. HENKEL, D. L. Local geology and the stability of natural slopes. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Nova York, 1967.
11. HOEK, E & BRAY, J. Rock slope engineering. Londres, Institut of Mining and Metallurgy, 1974.
12. INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 2., São Paulo, 1974.

13. INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 7, México, 1960.
14. JAGGER, J. C. & COOK, N. G. K. *Fundamentals of rock mechanics*. Londres, Chapman and Hall, 1976.
15. LIMA, Ailton et alii. *Relatório da comissão especial para indicação de medidas preventivas de novas calamidades na Cidade do Salvador*. Salvador, Prefeitura Municipal, 1977.
16. LOCZY, L. de & LADEIRA, E. A. *Geologia estrutural e introdução a geotectônica*. Rio de Janeiro, 1976.
17. MENEZES, M. S. Sugestões de procedimento para verificação da estabilidade de taludes em solos residuais da matriz sedimentar. In: — *Anais do 1º seminário regional de mecânica dos solos e engenharia de fundações*. Salvador, SEPLANTEC/Subsecretaria de Ciência e Tecnologia, 1978. p. 112-130 il.
18. MONTEIRO, H. P. & PINHEIRO, D. F. & VILLAR, P. Estudos da encosta da baixa do fiscal; Salvador-Ba. In: *Anais do XXII congresso de geologia*. s.l., Sociedade Brasileira de Geologia, 1969.
19. MONTEIRO, H. P. & BORGES, C. A. R. Aspectos geotécnicos dos estudos de fundações de grandes estruturas (edifícios e pontes). In: — *Anais do 1º seminário regional de mecânica dos solos e engenharia de fundações*. Salvador, SEPLANTEC/Subsecretaria de Ciência e Tecnologia, 1978. p.100-112 il.
20. NUNES, A. J. Costa. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: — *Congresso Internacional de mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, 7, México, 1969. p.547-554.
21. PANAMERICAN CONFERENCE OF SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4, San Juan, 1970. v.I. p.87-170.
22. PEEK, R. B. Stability of natural slopes. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, Nova York, 93(4):417, 1965.
23. PEIXOTO, C. S. Os fatores físicos condicionantes dos problemas da Cidade do Salvador. Salvador, UFBA, 1968. (Tese de Livre Docência).
24. PRANDINI, F. L. *O Brasil e a geologia no planejamento territorial e urbano*. São Paulo, 1976.
25. ROCHA, M. *Mecânica das rochas*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1973.
26. SAHADE, Wilson S. Considerações de projeto sobre a utilização de drenos verticais de areia na fundação da barragem Santa Helena. In: — *Anais do 1º seminário regional de mecânica dos solos e engenharia de fundações*. Salvador, SEPLANTEC/Subsecretaria de Ciência e Tecnologia, 1978. p.145-165 il.
27. SIMPÓSIO SOBRE ESTABILIDADE E CONSOLIDAÇÃO DE TALUDES, Rio de Janeiro, 1967.
28. TERZAGHI, K. *Mechanison of landslides*. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1967.
29. TERZAGHI, K. *Stability of steep slopes on hard unweathered rock*. Londres, Institution of Civil Engineers, 1969.
30. TERZAGHI, K & PECK, R. B. Estabilidade de encostas e taludes em cortes a céu aberto. In: — *Mecânica dos solos na prática da engenharia*. Trad. de A. J. Costa Nunes e M. de L. C. Campello. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1962.
31. TRASK, P. D. *Applied sedimentation*, Nova York, John Wiley & Sons Inc., 1959.
32. VARGAS, M. *Mecânica dos Solos*. São Paulo, EPUSP, 1972.



Escorregamento Av. Contorno – Notar a ocupação dos vãos sob o viaduto



Escorregamento Av. de Contorno – Na direção da flexa a região do escorregamento já estabilizada sob o Viaduto.

A Diretoria do CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DA BAHIA – CREA-BA, agradece ao Conselheiro ANTONIO FERNANDO D'ALMEIDA COUTO pela Coordenação dos trabalhos que possibilitaram a frente da publicação.



BUREAU GRÁFICA E EDITORA LTDA.
Rua Direita da Piedade, 24 – Salvador
Telefones: 245-7121 e 245-7321