

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS

X COBREAP

PERÍCIA SOBRE ACIDENTE DE OBRA DE TERRA EM ÁREA URBANA 12 ANOS DEPOIS: FALHA DE PROJETO OU DE CONSTRUÇÃO?

MAIA, AFONSO PEDRO
ENGENHEIRO CIVIL E GEOTÉCNICO
CREA/RJ 21.348-D

RUA LOPES QUINTAS, 187 – JARDIM BOTÂNICO
RIO DE JANEIRO – RJ – CEP 22.460-010
TELEFAX: (0xx21) 540-7383 – TEL.: (0xx21) 9917-8182
E-MAIL: afonso.maia@uol.com.br

Resumo: O trabalho versa sobre o colapso de uma obra urbana de contenção de encosta, ocorrido doze anos antes da perícia judicial objeto, referente à ação indenizatória principal, subsequente à correspondente ação preliminar de medida cautelar sentenciada. A inconclusão, à época, sobre a responsabilidade pelo acidente, bem como a morosidade processual, fez com que, passados aqueles anos desde a ocorrência do sinistro, surgisse a costumeira questão para o Perito do Juízo na ação indenizatória final: falha do projetista ou falha de construtor?

Abstract: This work refers to the collapse of an urban construction for slope contention, which occurred twelve years prior to the present judicial investigation, relating to the main action for compensation of damages, that followed the corresponding adjudged preliminary precautionary measure. At the time, the lack of a conclusion in respect of accident liability and the procedural delay, years after the accident occurred, caused the usual question to be put to the Court Expert in the final action for compensation of damages: was it a failure of the designer or a failure of the constructor?

1) INTRODUÇÃO

Cabe reeditar o mesmo tópico introdutório divulgado como apresentação do trabalho aos congressistas, para que fique registrado no texto dos anais a apreensão do perito quanto à responsabilidade pericial e feita adequada do laudo pericial referente a um sinistro urbano antigo e específico.

Uma obra de porte ruiu em plena região urbana de uma cidade importante deste país.

A questão é inevitável: De quem é a falha? Vício de projeto ou de construção? Ou vícios generalizados de projeto e obra? Quem é o culpado? Ou quais são?

Se formos indicados para uma perícia desta natureza, devemos responder a essas questões, e bem, sob pena de contestações intermináveis e cruéis. Melhor seria se pudéssemos, como de praxe, vistoriar o local, colher provas, fazer avaliações, entrevistar testemunhas e vizinhança, e, até, tomar fotografias do local sinistrado, para concluirmos com convicção. Tudo isso, evidentemente, sem antes cobrarmos com justiça e aguardar o depósito judicial dos nossos honorários profissionais, principalmente tratando-se de uma perícia de alta responsabilidade.

Agora, imagine-se nomeado nesse Processo, específico de perícia de engenharia, onde na ação preliminar, em que o Perito do Juízo (não foi você o outrora nomeado) emitiu parecer conclusivo evasivo e inconsistente apontando falhas do projetista, e que o M.M. Juízo, não se pautando no Laudo Pericial do seu louvado, preliminarmente, condenou o construtor pela culpa do sinistro.

Após idas e vindas processuais, imagine você os porquês, chega-se à ação principal, doze anos após aquela sentença preliminar, e agora você é o Perito do Juízo nomeado.

O local da perícia está totalmente alterado e reconstruído. O Laudo Pericial da preliminar é, como dito, evasivo e inconsistente (alguns colegas o classificariam impiedosamente de imprestável, ou mais educadamente de singelo). Os autos estão empoeirados e avolumados em um palmo, onde você não sabe onde começa e termina o quê, encontrando-se como um monte de cadernos esfarrapados, com folhas rotas e amareladas, costurados ainda com aquela cordinha cheia de nosinhos indesejáveis. Os honorários já estão depositados, pois o perito anteriormente indicado abdicou da perícia (havia mudado de atividade), sendo irrisórios ante à lide atual (e, devido a situações processuais, nem pense em cobrar adicionais). A quesitação beira a cem quesitos para serem respondidos. Os Assistentes Técnicos das partes são duas feras. As partes são (ou eram) firmas de engenharia conceituadas.

Bem, isso tudo é contornável e faz parte da arte pericial, mas será que você ainda obterá provas confiáveis para produzir um laudo, pelo menos conclusivo, após tantos anos?

Ora, quer saber minha opinião? Faça seu Laudo Pericial respondendo e orientando tecnicamente o Douto Juízo no julgamento principal. Você é o Perito do Juízo e está ali para isso; não rejeite uma nomeação. Entretanto, lembre-se da ressalva de um dos inspirados conselhos de um inesquecível professor: “Se for da sua competência, assumo hoje a perícia que outro pode fazer amanhã”. Nunca percebi se o mestre enfatizava o cacófato.

Eu aceitei a perícia e cheguei a uma conclusão satisfatória, creio. A tal ponto que ousei oportuno divulgá-la neste fórum, pelas suas características de dificuldade e desafio, a meu ver.

2) CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Embora já se tenha concluído o Laudo Pericial que originou o presente trabalho, por precaução e ética não serão indicados os nomes das pessoas, firmas e entidades envolvidas na lide, bem como datas e informações que possibilitem a identificação processual, mesmo por que a omissão destes dados em nada alterará o conteúdo do trabalho que visa apresentar o problema, apenas, tecnicamente.

Outros aspectos e características da lide também estão omitidos propositadamente no trabalho, visto que são irrelevantes ante à pretensão do tema.

3) RESUMO PROCESSUAL DA PERÍCIA

3.1) OBJETIVO DO LAUDO

O objetivo do Laudo Pericial era esclarecer tecnicamente ao Juízo quanto às causas que provocaram o acidente, bem como outros inúmeros esclarecimentos quesitados pelas partes.

Como visto nas considerações, neste trabalho só serão abordados os esclarecimentos ofertados ao Juízo referentes às causas que provocaram o acidente.

3.2) PEQUENO HISTÓRICO PROCESSUAL

a) Tratava-se de Ação Ordinária de Perdas e Danos, sendo Autora a Firma Construtora e Ré a Firma Projetista, distribuída por dependência em virtude da Ação de Medida Cautelar de Produção Antecipada de Provas ter sido julgada naquele mesmo Juízo;

b) A Autora, em virtude da ruína da obra de contenção, acontecida em dia/mês/ano, no terreno situado na rua Tal, etc., iniciou com o requerimento de procedência da Ação, pedindo condenação da Ré às perdas e danos, então ressarcidos devido ao acidente, alegando responsabilidade da Ré pelo acidente ocorrido;

c) A Ré contestou, requerendo a improcedência do pedido, bem como a condenação da Autora às custas legais, alegando ausência de responsabilidade no acidente ocorrido e culpando a mesma pela ruína.

d) Saneado o processo, o M.M. Juízo nomeou perícia, facultando às partes indicação de Assistentes Técnicos;

e) As partes apresentaram quesitação e indicaram Assistentes Técnicos.

4) HISTÓRICO PERICIAL

4.1) ATOS PRELIMINARES

Haja vista o período de tempo transcorrido desde o acontecimento do colapso da obra, antes de vistoriar-se o local, foi conveniente executar-se a busca de informações periciais mínimas necessárias visando inteirar-se do problema apresentado, tentando de toda forma atender às prescrições da NBR-13.752 – Norma Brasileira para Perícias de Engenharia Civil, da ABNT, especificamente quanto aos requisitos ali preconizados.

A leitura dos autos do processo foi fundamental para equacionar-se a metodologia de execução dos trabalhos periciais.

Felizmente, o processo era fértil em informações quanto ao projeto da obra e quanto às ocorrências da obra executada e foi possível alçar-se o cenário que precedeu a obra, seja no âmbito projetivo e construtivo, como no de planejamento da obra, havendo documentação representativa e suficiente, tendo sido possível dispor-se de:

- título de propriedade do imóvel da lide;
- plantas de topografia da área;
- contrato entre construtor e projetista, contendo especificações e responsabilidades;
- projeto da obra de contenção, incluindo memorial de cálculo;
- razoável histórico da obra, através documentação trocada entre projetista e construtor;
- laudos periciais e fotografias da ação preliminar de medida cautelar (Perito do Juízo e A. Técnicos);
- depoimentos de testemunhas, incluindo depoimento do construtor;
- referência de autuações da fiscalização municipal na obra;
- além da sentença judicial preliminar, confirmada em apelação.

b) ATOS SUBSEQÜENTES

Com as fontes de referência preliminarmente obtidas, foi efetuada a vistoria de praxe do local, onde outrora aconteceu o colapso, em conjunto com os Assistentes Técnicos indicados pelas partes.

Em seguida, a pesquisa bandeou-se para as entidades municipais controladoras de projetos e obras, peritos e técnicos envolvidos na ação preliminar, obtendo-se:

- laudos municipais de autuação de irregularidades ocorridas na obra;
- fotografias originais do acidente;
- outros documentos e plantas de interesse;
- dados de depoimentos pessoais.

c) FEITURA DO LAUDO

De posse dos dados colhidos, e julgados suficientes, passou-se à feitura do Laudo Pericial, em consonância com a NBR 13.752, concluindo-se a tarefa pericial com a conferência reservada entre os peritos e posterior entrega do laudo ao Juízo.

5) CENÁRIO DO ACIDENTE

Esclareça-se que toda a descrição adiante enfocada foi alceada com base nas informações e documentos levantados referentes à época do acidente, principalmente nas plantas existentes, fotos tomadas naquela ocasião e observações da vistoria mais recente do local.

5.1) TOPOLOGIA

A topologia local é composta de maciço rochoso com cobertura de solo residual jovem – saibro, de inclinação variável em torno de 45°, com vegetação e diversas obras de contenção – muros e cortinas atirantadas, havendo um platô situado 40,00m acima do meio-fio do logradouro – rua Tal, na cota 60m, onde há uma estrutura de residência de dois pavimentos e outra estrutura em encosta com dois pavimentos sob duas piscinas ao nível do platô, com acesso exclusivo pela rua Tal 2, na cota 100m, rua essa situada mais acima da encosta local.

O terreno da referida residência tem testada para os dois logradouros, sendo que o acesso natural só é possível pelo logradouro superior.

Essa descrição é válida para as épocas antiga e atual, visto que as obras de contenção arruinadas foram refeitas.

5.2) SITUAÇÃO ANTES DO COLAPSO

A obra de contenção do platô do terreno da residência era composta de uma sucessão quase alinhada de cortinas atirantadas, escorando, apenas o tal platô, que foi criado para acrescentar-se área plana ao terreno. A residência tinha fundações isoladas da obra de arrimo e teve sua construção iniciada antes das obras das cortinas atirantadas. No transcorrer da construção houve modificação no projeto da residência, quando surgiu a necessidade de construir-se as obras de contenção para escoramento do platô alargado.

A obra de contenção era composta por 5 cortinas, com características e dimensões anotadas adiante na descrição do projeto.

O ANEXO 1 – CROQUI DE SITUAÇÃO DAS CORTINAS DE CONTENÇÃO, apenso ao final, permite observar a projeção alceada do local, antes do acidente.

5.3) DESCRIÇÃO DO ACIDENTE

Em dia/mês/ano, as 6:00h, desmoronou parte da obra de contenção, tendo o desmoronamento sido iniciado com a rotura da cortina 2, atingindo e desmoronando as cortinas 1 e 4, soterrando o sopé do terreno, parte do muro de divisa com o logradouro – rua Tal, uma faixa de trânsito daquele logradouro e parte da área do terreno vizinho, provocando danos e deslocamentos excessivos nas cortinas 3 e 5 adjacentes e remanescentes, deformações num

pilar da estrutura metálica da residência e noutros dois pilares da estrutura das piscinas, bem como danos materiais no imóvel vizinho, parcialmente soterrado;

Nesta data foi registrada a ocorrência pelo órgão municipal de controle dessas ocorrências, relatando sobre a descrição do local e da ocorrência, opinando sobre causas e conseqüências, bem como providências a serem tomadas.

Descrevia o laudo geotécnico:

- um painel de cortina com cerca de 9,00m de altura estava aparente sobre a massa desmoronada, com sinais de puncionamento do concreto em pontos de apoio de vários tirantes e com sinais de concreto de má qualidade;
- o aterro remanescente junto às cortinas que não deslizaram (cortinas 3 e 5) apresentava predominância de solo residual de gnaiss colocado sem compactação;
- moradores vizinhos revelaram que no dia que precedeu ao acidente “saía água em abundância pelas juntas e falhas de concretagem daquela cortina, até a metade de sua altura”;
- uma testemunha do imóvel vizinho atingido afirmou que no dia anterior ao sinistro “a base daquela cortina estava descalçada e com pedras soltas, em sua parte central”, indicando, segundo o laudo geotécnico, carreamento do solo sob a cortina;
- as causas aparentes da ruína eram devido à má execução da cortina, aterro mal compactado e permeável, má qualidade do concreto da cortina, projeto inadequado às condições geológicas e topográficas locais;
- havia risco de outro escorregamento do aterro remanescente (observou-se mais tarde que as cortinas 3 e 5 e um muro de pedra apresentavam deslocamentos da ordem 0,50m);
- havia rachaduras aparentes em dois pilares da estrutura de sustentação da piscina;
- as providências imediatas eram de interdição da área do terreno vizinho, formação de comissão de vistoria para examinar o acidente e intimação do proprietário para executar obras de reparo em condições de emergência com início em dez dias.

5.4) SITUAÇÃO DEPOIS DO COLAPSO

O ANEXO 2 – CROQUI DE SITUAÇÃO APÓS O COLAPSO, apenso ao final, permite observar a projeção alçada do local, após o acidente.

Também as fotografias tomadas no local – vide ANEXO 5 – FOTOGRAFIAS ao final, ilustram detalhes da situação.

6) CRÍTICA AO PROJETO DAS CORTINAS

6.1) PROJETO DAS CORTINAS

O projeto periciado apresentava as seguintes dimensões e características:

- | | | | | |
|-------------|------------|---------------|----------------|--------------------|
| - Cortinas: | Cortina 1: | vão: 12,00m | altura: 8,00m | vão total: 12,00m; |
| | Cortina 2: | vão a: 11,40m | altura: 7,00m; | |
| | | vão b: 14,00m | altura: 9,00m; | |
| | | vão c: 6,50m | altura: 7,80m | vão total: 31,90m; |
| | Cortina 3: | vão: 9,00m | altura: 7,50m | vão total: 9,00m; |
| | Cortina 4: | vão: 7,00m | altura: 4,50m | vão total: 7,00m; |
| | Cortina 5: | vão a: 8,00m | altura: 8,00m; | |
| | | vão b: 9,00m | altura: 6,00m | vão total: 17,00m; |
- Concreto: $f_{ck} \geq 150\text{kg/cm}^2$; armadura: aço CA-50-B – $2 \times \phi 10\text{mm}$ c/ 15cm; espessura: 20cm;
 - Tirantes: de barra – aço CA-50-B de $\phi 1 \frac{1}{4}$ ”; carga de trabalho: 16,5t;
 - Paramento: vertical;
 - Terrapleno projetado: horizontal; coesão: $0,50\text{t/m}^2$; ângulo de atrito: 35° ; peso específico: $1,8\text{t/m}^3$;
 - Sobrecarga do terrapleno: $0,50\text{t/m}^2$;
 - Drenagem das cortinas: barbacãs - drenos $\phi 100\text{mm}$ com ponta filtrante.

6.2) CONCRETO ARMADO DOS PAINÉIS

O cálculo estrutural dos painéis das cortinas foi periciado, tendo-se concluído que a armadura projetada atendia aos esforços solicitantes com razoável margem de segurança.

6.3) TERRAPLENO E DRENAGEM

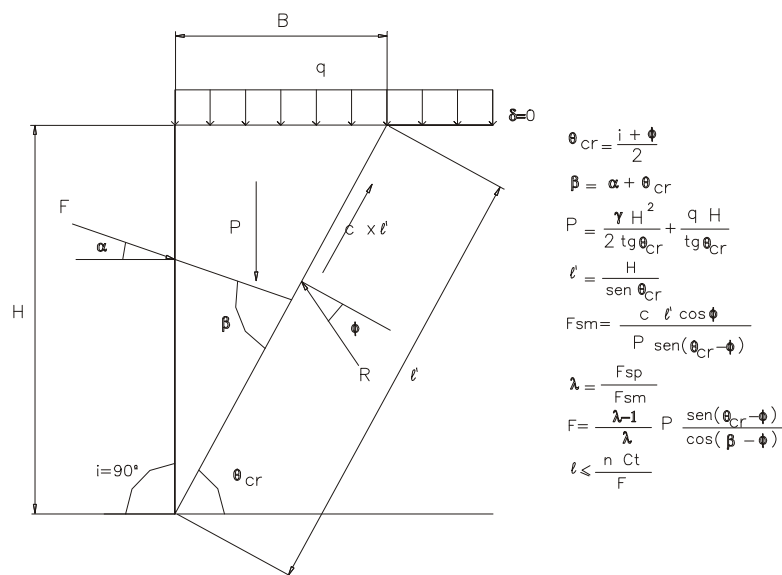
Os parâmetros do solo do aterro do platô – $c=0,50\text{t/m}^2$; $\phi=35^\circ$; $\gamma=1,8\text{t/m}^3$, solo arenoso pouco argiloso, exigiria controle de obra no seu emprego face à sua classificação, o que não foi ressaltado no projeto.

A drenagem projetada restringia-se somente à do paramento das cortinas, com barbacãs (drenos $\phi 100\text{mm}$ com ponta filtrante) centralizados a cada quatro tirantes, confirmando a exigência do controle do material drenante do terrapleno (solo arenoso), a se ressaltar no projeto.

6.4) TIRANTES DAS CORTINAS

O cálculo do dimensionamento e espaçamento dos tirantes foi feito para a cortina genérica de altura igual a 8,00m (Cortina 1), sendo omissa o dimensionamento das demais estruturas. Para verificar-se o dimensionamento geral das cortinas para as premissas de projeto foi necessário refazer-se os cálculos para aferição dos espaçamentos dos tirantes de cada cortina projetada, com o mesmo critério de cálculo adotado no memorial de projeto – método brasileiro – teoria de Culmann.

Veja-se a seguir a situação paramétrica para o caso de paramento vertical e terrapleno horizontal com sobrecarga distribuída, para a referida teoria empregada no cálculo geomecânico do projeto.



O ANEXO 3 – PLANILHA DE VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DOS TIRANTES, apenso ao final, permite observar que, para o tipo e carga de trabalho dos tirantes especificados, o espaçamento entre tirantes de cada cortina projetada era admissível, extraído-se do citado anexo o seguinte quadro crítico:

ESPAÇAMENTOS MÁXIMOS ADMISSÍVEIS E PROJETADOS NAS CORTINAS (m)								
Espaçam. ¹⁰	Cortina1	Cortina2a	Cortina2b	Cortina2c	Cortina3	Cortina4	Cortina5a	Cortina5b
Máximo	3,04	4,06	3,15	3,21	3,50	7,30	3,04	3,80
Projetado	2,50	3,50	3,10	3,10	3,30	2,50	3,00	3,50
Crítica	atendido	Atendido	atendido	atendido	atendido	atendido	atendido	atendido

7) CRÍTICA À CONSTRUÇÃO DA OBRA DAS CORTINAS

As críticas que se seguem estão baseadas nas informações colhidas na perícia, especificamente nos fatos de ocorrência de obra.

7.1) QUANTO AO PLANEJAMENTO

- A obra, pelas suas características de localização em encosta, obrigatoriamente deveria ser baseada em investigação geotécnica satisfatória, com execução de topografia adequada, sondagens e ensaios especiais prévios, o que não houve;
- A obra foi mal planejada, não obedecendo a cronograma de engenharia ou critério de fases executivas sucessivas e interdependentes;
- As interrupções da obra de contenção por impasse administrativo entre construtora e empreiteira (ou por outros motivos), geraram problemas executivos que tornaram a obra viciada em vários aspectos;
- O mesmo pode-se considerar devido ao fato de que a obra foi mal administrada e mal conduzida na divisão das responsabilidades e dos serviços da construtora e empreiteira, principalmente quanto à fiscalização e supervisão dos serviços e materiais empregados na execução da obra.

7.2) QUANTO À EXECUÇÃO:

- Houve erros de execução inconcebíveis para uma obra de engenharia aparentemente arrojada, mas tradicional e comum para a topologia da cidade;

b) Houve inversão nas atividades construtivas das cortinas atirantadas, principalmente, ao executar-se o aterro atrás do paramento das cortinas fora da seqüência executiva (antes do chumbamento ou atirantamento da linha de tirantes de referência, ou até antes da colocação dos tirantes nos furos de instalação), provocando, durante à obra: deslocamentos e desaprumos excessivos da cortina, deformações e desalinhamentos da cabeça dos tirantes (alterando a inclinação projetada), retração excessiva das pontas externas dos tirantes (ocasionando emendas não recomendadas no projeto), danos localizados (devido à modificação dos esforços previstos na estrutura das cortinas e dos tirantes), e outros tantos registrados;

c) A ato reparativo da construtora de efetuar a retirada do aterro precoce atrás da cortina (para minimizar ou recompor os esforços admissíveis no paramento da cortina), com retroescavadeira e trator de esteira, danificou algumas barras de tirantes, provocando: disfunção nos trechos livres e de ancoragem dos tirantes atingidos, rotura de emendas dos tirantes, depressão no terrapleno (facilitando acúmulo de águas pluviais), entre outros danos e inconveniências técnicas;

d) A drenagem interna do paramento não foi executada criteriosamente, ou mesmo absolutamente (o projeto previa colocação de rede de drenos de $\phi 100\text{mm}$);

e) A drenagem superficial do platô da obra era ineficaz ou inexistente, mormente quando criou-se depressões no terrapleno, dirigindo e infiltrando as águas pluviais para o interior do terreno arrimado, fragilizando a capacidade de resistência ao cisalhamento do solo arrimado e potencializando uma rotura generalizada do terrapleno – que veio a acontecer;

f) A modificação da declividade dos tirantes ($\alpha=15^\circ$) e da verticalidade do paramento da cortina ($i=90^\circ$) projetadas provocada pelas deformações ocorridas nos painéis de concreto armado, especificamente da cortina 2 que ruiu primeiro (houve diversos pequenos vícios de construção localizados durante a execução desta cortina, anos antes da ruína, tendo a mesma sido reforçada), modificaram as condições de projeto concebidas, criando esforços na estrutura, não previstos no projeto, seja no corpo dos tirantes ou na região do sistema de apoio dos tirantes nos painéis da cortina de concreto armado;

g) As características de alguns materiais utilizados na obra não se enquadraram com as especificações projetadas, acarretando problemas na estrutura da obra e potencializando a ocorrência futura de acidente – que veio a acontecer;

h) O emprego de material de terrapleno não compatível com as características de resistência ao cisalhamento – coesão e ângulo de atrito interno ($c=0,50\text{t/m}^2$; $\phi=35^\circ$) e de peso específico ($\gamma = 1,80\text{t/m}^3$) do solo, utilizando-se de material inconveniente e não compactado, minimizando os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo ($c \cong 0,15\text{t/m}^2$; $\phi \cong 20^\circ$, estima-se para o solo heterogêneo empregado), ocasionou alteração dos esforços na estrutura projetada;

i) O uso de aço CA-50-A, ao invés do aço CA-50-B de melhor trabalhabilidade na confecção dos tirantes, dificultou a execução das roscas, emendas e engate do macaco hidráulico de atirantamento, ocasionando roscas defeituosas e espanáveis;

j) Os vergalhões de aço CA-50-A dos tirantes foram fornecidos cortados, criando emendas nos tirantes maiores, não previstas no projeto, e não recomendáveis.

8) TESE SUCINTA DO AUTOR SOBRE ROTURAS EM ACIDENTES COM CORTINAS ATIRANTADAS

Abra-se um segmento didático para comentar sobre acidentes em obras de arrimo, especificamente quanto aos tipos de roturas observadas em sinistros envolvendo cortinas de contenção atirantadas.

8.1) ROTURA LOCALIZADA

Nestes casos a rotura origina-se num elemento da estrutura (tirante ou painel de concreto), muitas vezes não se estendendo ao resto do corpo da obra de contenção, dando chance aos construtores e projetistas de tomarem providências corretivas quanto aos danos provocados pela rotura.

Observa-se nos casos de rotura localizada a ocorrência de deformações e movimentos do elemento ou estrutura (recalques, deslocamentos e desaprumos), com surgência de trincas e rachaduras, culminando com uma rotura específica, quando não contida em tempo hábil.

A rotura, uma vez iniciada, pode desencadear a rotura sucessiva dos tirantes ou da estrutura dos painéis de concreto armado, devido ao acréscimo e alternância dos esforços desenvolvido na rotura, atingindo toda a obra.

O início do mecanismo do movimento de uma rotura localizada de cortinas atirantadas é aleatório e específico, com deslocamentos gravitacionais da parte em ruína, tombando as seções rompidas de cima para baixo, acomodando-se após a rotura, quase sempre, em posição emborcada (face externa para baixo) e sob o maciço arrimado que desmorona a reboque.

A rotura localizada, geralmente não está inicialmente vinculada à rotura por cisalhamento do solo, mas ao empuxo exercido pelo solo.

8.2) ROTURA GENERALIZADA

Neste caso, a rotura origina-se no corpo do terraplino da obra de contenção, estendendo-se, no limiar da rotura, ao resto da obra, quase sempre não dando chance aos construtores e projetistas de tomarem providências corretivas para evitar-se a rotura.

O fenômeno é, via de regra, abrupto e sonoro, provocado pela rotura por cisalhamento ou solapamento do terreno arrimado (perda da resistência ao cisalhamento ou erosão interna do terraplino), e gerando em seguida as roturas individuais dos demais elementos da estrutura.

Nesta rotura, um pouco antes da ruína, o processo é precedido de roturas localizadas, tais como: rotura na região de apoio dos tirantes (puncionamento do concreto pelas placas de apoio ou rasgaduras no concreto), rotura dos tirantes (escoamento do trecho livre ou cisalhamento no contato da superfície de rotura do maciço), arrancamento dos tirantes (bulbos do trecho de ancoragem).

Observa-se nestes casos uma superfície de rotura bem definida ao longo do maciço rompido, geralmente planar.

Apesar da característica instantânea desta rotura, também observa-se a ocorrência prévia de deformações e movimentos na obra, seja no painel da cortina (recalques, deslocamentos, trincas e desaprumos), mas, principalmente no terraplino arrimado (recalques e deslocamentos), com surgência de rachaduras longitudinais no platô arrimado (paralelas à cortina).

O mecanismo do movimento de uma rotura generalizada de cortinas atirantadas é bem definido, iniciando com um deslocamento de giro da base da cortina, de dentro para fora do terraplino, provocado pela rotura abrupta do maciço arrimado, que se desloca, empurrando e alavancando energeticamente a base da cortina.

É normal observar-se após este tipo ruína a aparência de seções dos painéis de cortina atirantada, com a face externa voltada para cima e em posição semi horizontal, sendo comum acumular-se parte do maciço ruído sob a cortina tombada, ao contrário do que se observa no mecanismo da rotura localizada.

A ruína de uma obra de contenção por rotura generalizada está intimamente vinculada à rotura por cisalhamento do solo arrimado ou solapamento deste.

8.3) ROTURA PROFUNDA

A rotura profunda é um caso clássico de colapso de obras de terra e acontece exclusivamente por rotura ao cisalhamento do solo do arrimo ou da encosta. Acontece, via de regra, quando a encosta está submetida a esforços externos excessivos (sobrecargas no terraplino ou na encosta). Pode acontecer devido a outros fatores, também.

O mecanismo deste movimento é bem definido, sendo planar ou rotacional, e, como o próprio nome diz é profundo e carrega, junto com o maciço desmoronado, grande parte das obras e edificações por ventura assentes na encosta. Caracteriza-se bem, nesse caso, a superfície de rotura.

9) DIAGNÓSTICO PERICIAL DO ACIDENTE

Pode-se diagnosticar pericialmente sobre o acidente ocorrido que:

a) O acidente foi iniciado por rotura generalizada da obra de contenção da cortina atirantada n.º 2, por cisalhamento do conjunto da obra de arrimo, devido, principalmente, à perda de resistência ao cisalhamento do solo arrimado, provocada pela saturação e percolação continuada, veloz e excessiva das águas pluviais no interior do terrapleno de arrimo;

b) A percolação pluvial foi facilitada pela depressão existente no platô superior da cortina n.º 2, provocando saturação do terrapleno e erosão interna daquele terreno arrimado, sobrecarregando o sistema de apoio do atirantamento da cortina, que somando-se à perda de resistência do terreno, acarretou os rompimentos dos tirantes da cortina (escoamento das barras de aço – vide fotos da superfície do terreno rompido com diversos pedaços remanescentes de tirantes, ainda ancorados no terreno);

c) O movimento da rotura foi desencadeado por deslocamento da base da cortina n.º 2, impulsionada pela massa de terrapleno saturado e roto de maneira instantânea, rompendo-se a maioria dos tirantes daquela cortina por escoamento ou cisalhamento do trecho livre (vide fotos das cabeças dos tirantes da cortina 2, intactas após a ruína);

d) A queda da cortina n.º 2 provocou, a reboque, o desmoronamento das cortinas n.º 1 e 4 abaixo atingidas, dinamicamente, rompendo-se o concreto armado dos painéis nos pontos de apoio dos de alguns tirantes (rasgadura ou puncionamento do concreto armado – vide fotos da cortina 1, apenas rota nos apoios, após a ruína); rompeu-se, também nessas cortinas vários tirantes (escoamento das barras de aço – vide foto do terreno rompido junto à base da estrutura das piscinas);

e) Os painéis da cortina 2, livrando-se dos pontos de apoio dos tirantes rompidos, giraram inteiros, empurrados pela base, posicionando-se, um painel visível após a queda, quase que horizontalmente, com a face externa voltada para cima e com parte da massa deslizada sob si, conforme bem se observa nas fotos tomadas logo após o acidente (vide ANEXO 2 – CROQUI DE SITUAÇÃO APÓS O COLAPSO);

f) Fica bem caracterizada essa descrição do movimento ao observar-se as fotos do acidente tomadas pelos vistoriadores no dia do acidente e pelo Perito do Juízo na vistoria efetuada dez meses após o colapso;

g) No colapso, também ocorreram danos nas obras remanescentes atingidas, caso de um pilar da estrutura metálica da residência, pilares, vigas e lajes da estrutura de concreto armado das piscinas, bem como as cortinas 3 e 5 situadas à esquerda das piscinas (estes elementos estruturais apresentaram danos visíveis e acentuados, como bem se observa nas fotos tomadas após o acidente);

h) Houve ainda danos materiais no parque do terreno vizinho atingido, no muro da testada, encosta, rede elétrica e no logradouro, atingidos pelo material caído.

Observação:

a) O concreto armado projetado (concreto: $f_{ck} \geq 150 \text{ kg/cm}^2$; armadura: aço CA-50-B – $2 \times \phi 10 \text{ mm}$ c/ 15cm; espessura: 20cm), correspondente à seção de armadura de $5,23 \text{ cm}^2/\text{m}$, era suficiente para cobrir o diagrama de esforços de projeto, seja pelo critério de cálculo convencional ($0,70 \text{ tm} \Leftrightarrow 1,44 \text{ cm}^2/\text{m}$) ou pelo critério de cálculo por lajes cogumelo ($2,20 \text{ tm} \Leftrightarrow 4,52 \text{ cm}^2/\text{m}$), e como visto, estava dimensionado para resistir aos esforços solicitantes com razoável margem de segurança;

b) Corroborava com essa afirmação a observação de que os painéis da cortina ruíram por inteiro, não apresentando rachaduras visíveis oriundas de falha de projeto (falha de armadura), cabendo-se salientar que as roturas localizadas observadas no concreto foram oriundas de rasgadura do concreto e puncionamento junto à região de apoio dos tirantes, devido às solicitações excessivas, estáticas e dinâmicas, numa linha lateral dos tirantes da maior cortina inferior n.º 1, arrastada pela cortina n.º 2 no momento da rotura generalizada da obra (vide fotos).

10) MODELO ESTRUTURAL NO MOMENTO DA ROTURA

A perícia comprovou e demonstrou a teoria pericial através de cálculos estruturais, refazendo-se o dimensionamento da cortina 2 (a que ruiu primeiro), para o **estado iminente da rotura generalizada**, calculando-se o espaçamento horizontal entre colunas de tirantes na iminência da rotura, e verificando-se a similaridade com os espaçamentos existentes no projeto/obra, ou seja:

- considerando-se o real valor da coesão do solo de aterro utilizado no terrapleno, estimando-se $c=0,15t/m^2$, função da aparência do solo observada após a rotura (solo pouco coesivo – conforme fotos) e, também, porque mesmo em saturação o solo empregado ainda oferecia uma parcela mínima de força de coesão na superfície de cisalhamento da massa (incluindo os tirantes);

- considerando-se o real valor do ângulo de atrito interno do solo de aterro utilizado no terrapleno, estimando-se $\phi=20^\circ$ (solo heterogêneo arenoso e pouco compacto – conforme fotos);

- extremado-se o valor da carga de trabalho dos tirantes na rotura, ou seja, para o valor da tensão de escoamento do aço CA-50- $\phi 1\frac{1}{4}$ ": $T=32t$; $FS\phi=1 \Rightarrow Ct=32t$, simulando-se a rotura iminente dos tirantes;

- minimizando-se o fator de segurança da força de protensão, ou seja, $Fsp=1$, também, simulando a iminência de rotura;

- conservando-se os outros parâmetros e demais concepções do projeto, visto que não apresentam variação representativa ante às concepções acima consideradas.

Desta forma, calcula-se os espaçamentos horizontais entre colunas de tirantes na iminência de rotura generalizada da obra (vide ANEXO 4 – PLANILHA DE VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS DOS TIRANTES DA CORTINA 2 NA IMINÊNCIA DA ROTURA), obtendo-se para os três vãos da cortina considerada os seguintes valores dos espaçamentos máximos (na rotura – l_{rot}) e fazendo-se a comparação com os espaçamentos projetados ($l_{projeto}$):

Cortina 2:

- vão a: 11,40m; altura: 7,00m: $l_{rot} \cong 3,44m \Leftrightarrow l_{projeto} = 3,50m \Rightarrow l_{projeto} \text{ 1,74\% acima;}$

- vão b: 14,00m; altura: 9,00m: $l_{rot} \cong 2,79m \Leftrightarrow l_{projeto} = 3,10m \Rightarrow l_{projeto} \text{ 11,11\% acima;}$

- vão c: 6,50m; altura: 7,80m: $l_{rot} \cong 2,78m \Leftrightarrow l_{projeto} = 3,10m \Rightarrow l_{projeto} \text{ 11,51\% acima;}$

Comprovando-se, numericamente, que a obra de contenção nesta situação já extrapolava em pouco o estado iminente de rotura, explicando-se a pequena variação na igualdade esperada entre l_{rot} e $l_{projeto}$, devido às premissas menos ou mais conservadoras consideradas, especificamente na estimativa dos valores da coesão e do ângulo de atrito interno do solo arrimado.

Não é demais observar que esta verificação acima concebida dá margem a uma extensa discussão, quiçá uma tese específica e interessante.

11) CONCLUSÃO PERICIAL SOBRE AS CAUSAS DO COLAPSO

11.1) QUANTO AO PROJETO

- A memória de cálculo e as plantas estruturais das cortinas atirantadas se correspondem e têm premissas compatíveis com a prática usual e normativa.
- O projeto das cortinas de contenção foi verificado, estando isento de vícios representativos, não se considerando como tal a omissão nas plantas das observações pertinentes à necessidade de execução do controle tecnológico do terreno de aterro do platô.

11.2) QUANTO À EXECUÇÃO DA OBRA

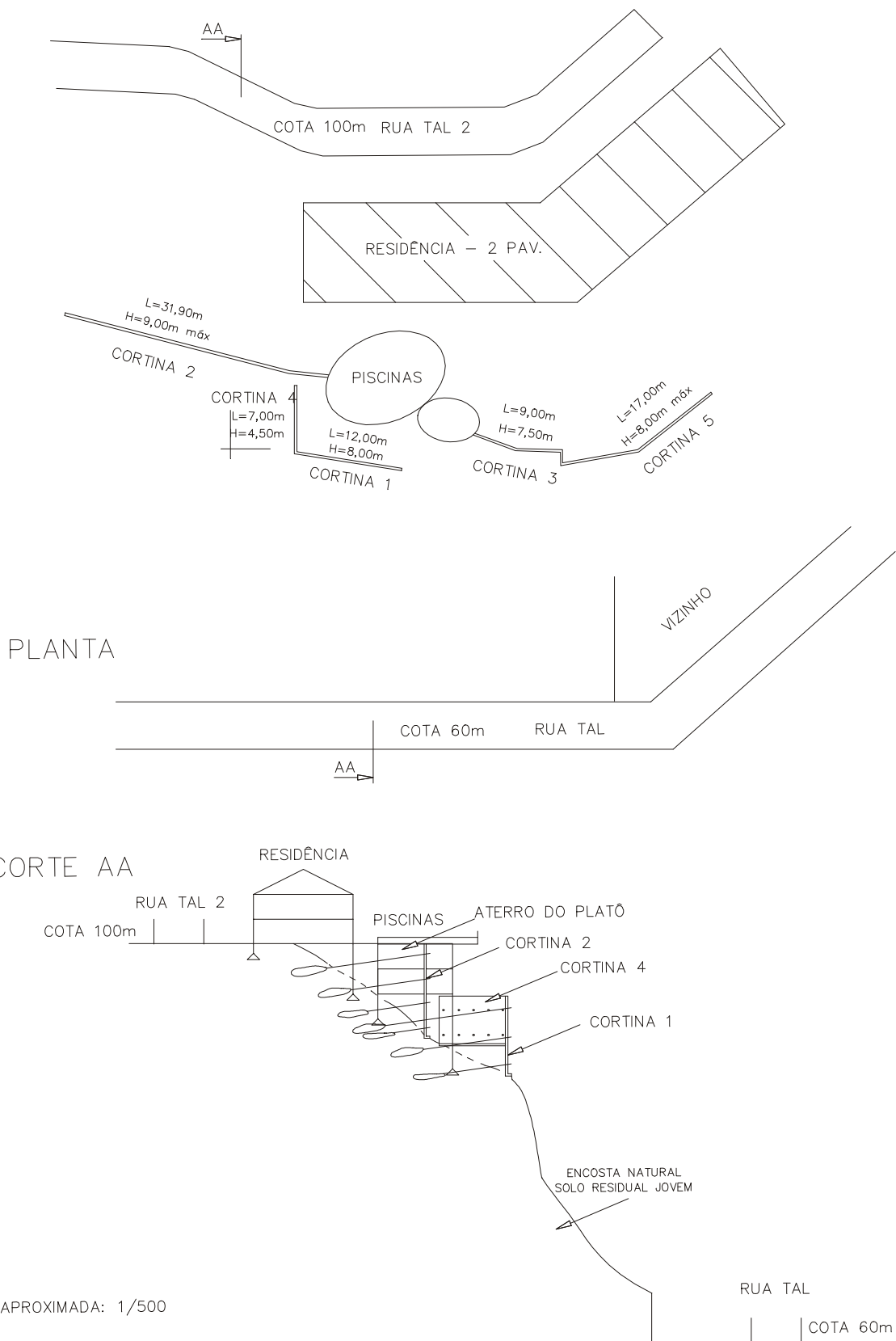
- A execução da obra de contenção foi recheada de vícios construtivos, conforme anteriormente descritos, que interferiram diretamente nas condições e premissas de cálculo do projeto executado.
- A modificação dessas condições e premissas foram muito expressivas, mormente em período de chuvas intensas e continuadas, a ponto de provocar a ruína generalizada da obra.

- Não há dúvidas para se concluir que as causas que motivaram a ruína da obra de contenção foram oriundas de vícios construtivos.

12) BIBLIOGRAFIA

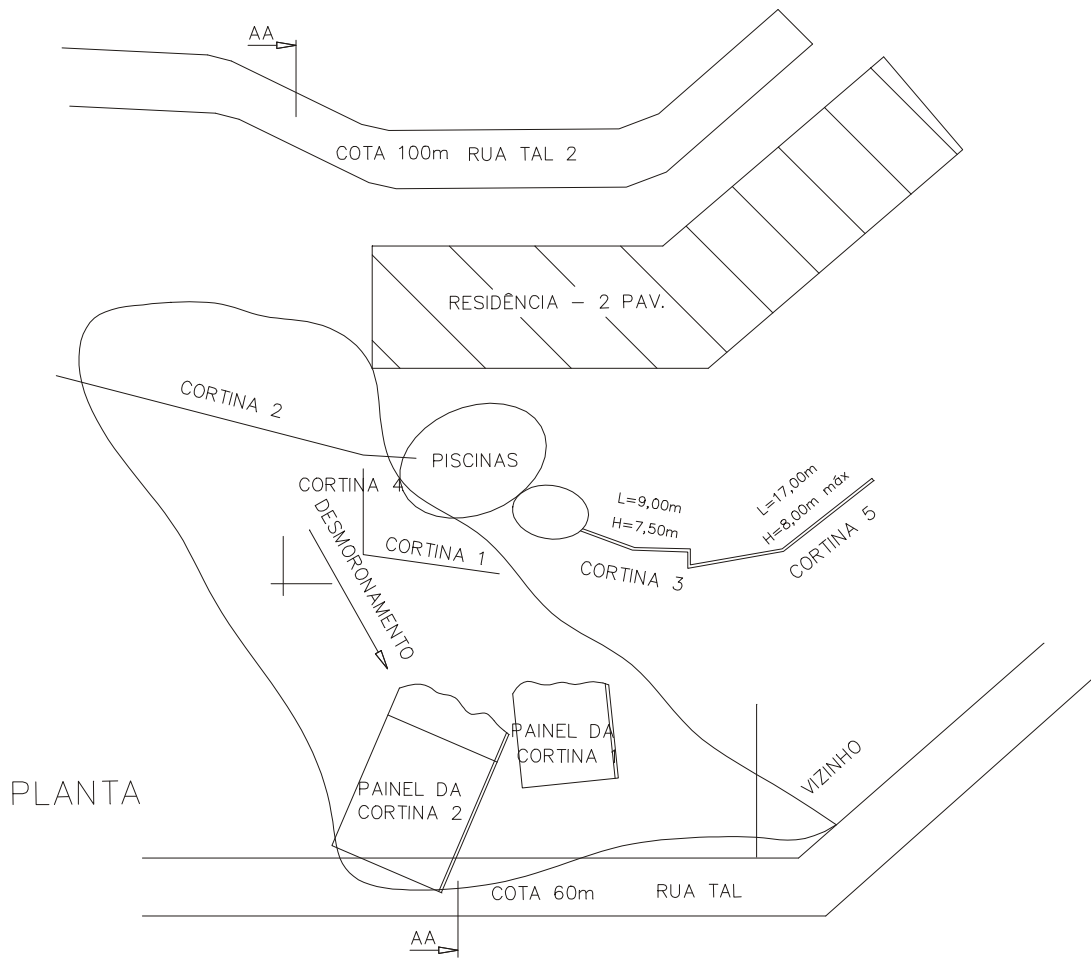
- DESIGN MANUAL – Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures; Department of the Navy; USA; 1971.
- IX COBREAP – IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias; SP; 1997.
- LAMBE, T. William-WHITMAN, Robert V. – Soil Mechanics; John Wiley & Sons, Inc.; USA; 1969.
- MAIA NETO, Francisco – Perícias Judiciais de Engenharia: doutrina, prática e jurisprudência; Ed. Del Rey; BH; 1993.
- NBR-13.752 – Perícias de Engenharia na Construção Civil; Norma Brasileira da ABNT; RJ; 1996.
- ROCHA, Aderson Moreira – Novo Curso Prático de Concreto Armado; Ed. Científica; RJ; 1990.
- TAYLOR, Donald W. – Fundamentals of Soil Mechanics; Wiley International Edition; NY/USA; 1966.
- VARGAS, Milton – Introdução à Mecânica dos Solos; São Paulo; McGraw-Hill do Brasil; Ed. da Universidade de São Paulo; SP; 1977.

ANEXO 1 – CROQUI DE SITUAÇÃO DAS CORTINAS DE CONTENÇÃO

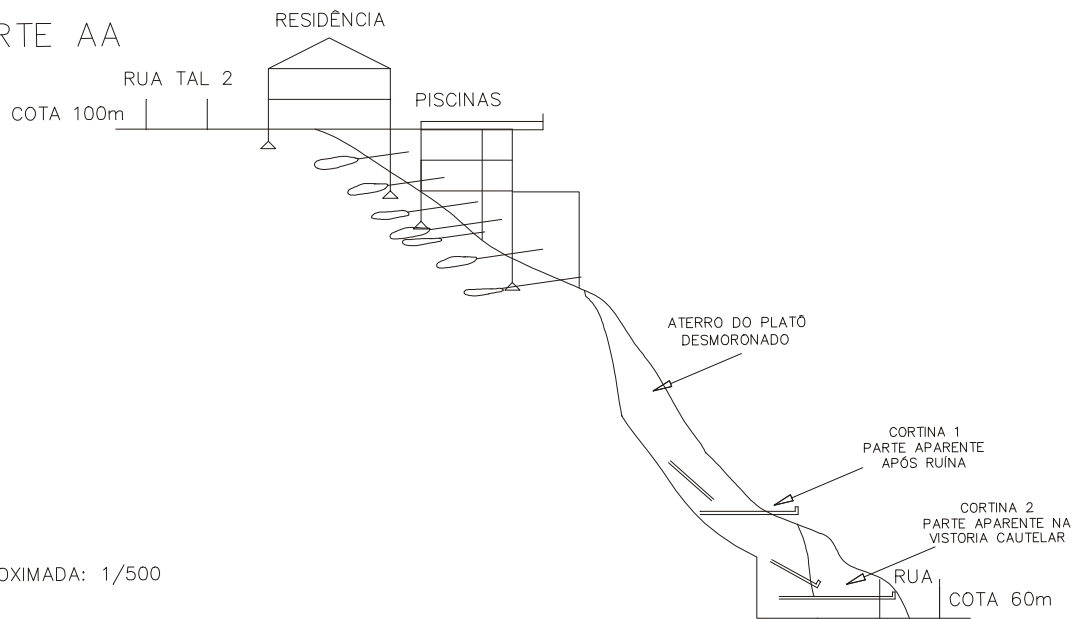


ESCALA APROXIMADA: 1/500

ANEXO 2 – CROQUI DE SITUAÇÃO APÓS O COLAPSO



CORTE AA



ESCALA APROXIMADA: 1/500

ANEXO 4 – PLANILHA DE VERIFICAÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS DOS TIRANTES DA CORTINA 2 NA IMINÊNCIA DA ROTURA

MÉTODO BRASILEIRO - TEORIA DE CULMANN

Terrapleno horizontal ($\delta=0$)

CASO DO PROJETO

$c=0,50\text{t/m}^2$; $\phi=35^\circ$; $T=28,8\text{t}$; $FS\phi=1,75$; $Fsp=1,30$

CASO DA OBRA EM ROTURA GENERALIZADA

$c=0,15\text{t/m}^2$; $\phi=20^\circ$; $T=32\text{t}$; $FS\phi=1,00$; $Fsp=1,00$

DADOS:	CORTINA 2a	CORTINA 2b	CORTINA 2c	CORTINA 2a	CORTINA 2b	CORTINA 2c
$i=$	90 graus	90 graus	90 graus	90 graus	90 graus	90 graus
Vão - L=	11,40 m	14,00 m	6,50 m	11,40 m	14,00 m	6,50 m
Altura - H=	7,00 m	9,00 m	7,80 m	7,00 m	9,00 m	7,80 m
Coesão - c =	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,15 t/m ²	0,15 t/m ²	0,15 t/m ²
Âng. de atrito int. solo - $\phi=$	35 graus	35 graus	35 graus	20 graus	20 graus	20 graus
Peso específico - $\gamma =$	1,8 t/m ³	1,8 t/m ³	1,8 t/m ³	1,8 t/m ³	1,8 t/m ³	1,8 t/m ³
Sobrecarga terrapleno - q=	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²	0,50 t/m ²
$\alpha=$	15 graus	15 graus	15 graus	15 graus	15 graus	15 graus
Aço: CA-50-B / 1 1/4"-T=	28,8 t	28,8 t	28,8 t	32 t	32 t	32 t
FS ϕ (Prov/Perm) - FS $\phi=$	1,75	1,75	1,75	1	1	1
FS força prot. - Fsp=	1,3	1,3	1,3	1	1	1
Linhas de ancoragem - n=	3	4	3	3	4	3
DIMENSIONAMENTO:						
$\theta_{cr}=$	62,5 graus	62,5 graus	62,5 graus	55 graus	55 graus	55 graus
B=	3,64 m	4,69 m	4,06 m	4,90 m	6,30 m	5,46 m
$l=$	7,89 m	10,15 m	8,79 m	8,55 m	10,99 m	9,52 m
$\beta=$	77,5 graus	77,5 graus	77,5 graus	70 graus	70 graus	70 graus
P=	24,78 t/m	40,29 t/m	30,53 t/m	33,33 t/m	54,20 t/m	41,07 t/m
$\cos \phi=$	0,819	0,819	0,819	0,940	0,940	0,940
$\text{sen}(\theta_{cr}-\phi)=$	0,462	0,462	0,462	0,574	0,574	0,574
$\cos(\beta-\phi)=$	0,737	0,737	0,737	0,643	0,643	0,643
Fsm=	0,282	0,223	0,255	0,063	0,050	0,057
$\lambda=$	4,602	5,820	5,089	15,871	20,073	17,552
F=	12,15	20,90	15,37	27,87	45,95	34,56
Ct=	16,5 t	16,5 t	16,5 t	32,0 t	32,0 t	32,0 t
$l_{\text{máximo}}=$	4,06 m	3,15 m	3,21 m	3,44 m	2,79 m	2,78 m
				<i>l de rotura</i>	<i>l de rotura</i>	<i>l de rotura</i>
$l_{\text{projeto}}=$	3,50 m	3,10 m	3,10 m	3,50 m	3,10 m	3,10 m
Crítica:	ATENDIDO	ATENDIDO	ATENDIDO	VÃO EM ROTURA	VÃO EM ROTURA	VÃO EM ROTURA

ANEXO 5 – FOTOGRAFIAS



FOTO 1 – Situação local mais recente constatada na vistoria da Ação principal, 12 anos após o colapso; observar encosta natural replantada obstruindo a visibilidade das obras de contenção refeitas e/ou reforçadas.



FOTO 2 – Situação local logo após o acidente, tomada do mesmo posicionamento relativo da foto anterior, constatada na vistoria de emergência do órgão municipal controlador; observar a superfície planar de ruptura e a estrutura das piscinas exposta pela ausência das cortinas desabadas

ANEXO 5 – FOTOGRAFIAS



FOTO 3 – Aspecto geral do colapso, observado do topo do platô desabado; observar trecho de vários tirantes chumbados na encosta escoados na rotura; notar na massa desabada a Cortina 1 aparente na ruína, que foi atingida pela Cortina 2, que ruiu primeiro; veja-se danos no pilar da estrutura das piscinas.

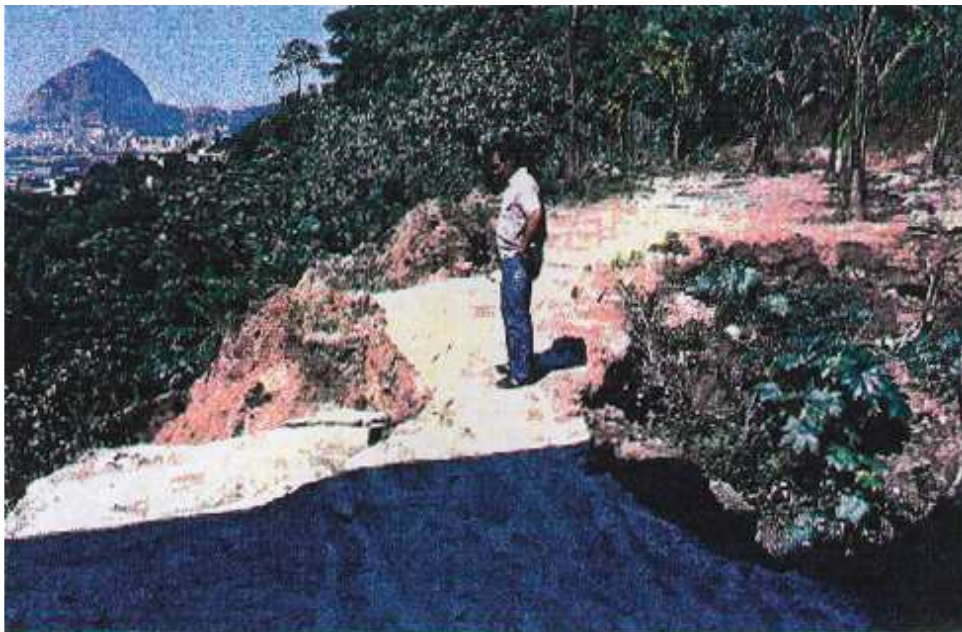


FOTO 4 – Detalhes, logo após o colapso, do topo remanescente do platô desabado, de onde se tomou a foto anterior (ótica do observador da foto); observar a borda rota do platô à esquerda da foto; notar a depressão no platô (buraco com vegetação, à direita) deixada pelo construtor, foco, incontestemente e representativo, causador da ruína.

ANEXO 5 – FOTOGRAFIAS



FOTO 5 – Detalhe do painel da Cortina 1, logo após o colapso, aparente na massa desmoronada (vide Foto 3), mostrando a face externa da cortina expondo marcas de rasgaduras e puncionamentos do concreto armado, danificado pelo efeito dinâmico da queda da Cortina 2, a que ruiu primeiro.

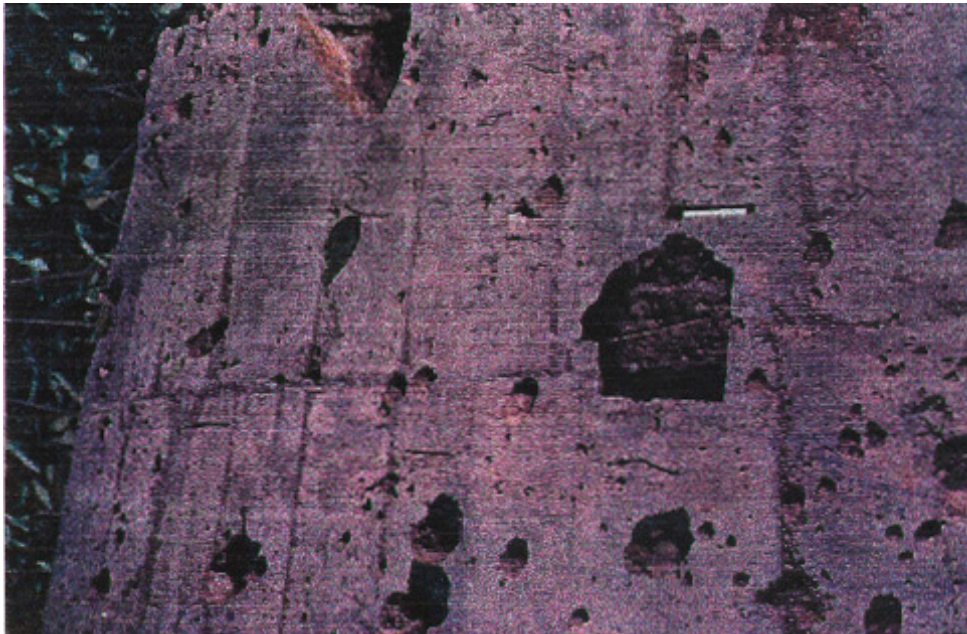


FOTO 6 – Detalhe de dano na face externa do concreto armado da Cortina 1 (vide foto anterior), referente ao puncionamento exercido pela chapa de apoio da cabeça do tirante, de 20cm x 20cm, guilhotinando literalmente o concreto.

ANEXO 5 – FOTOGRAFIAS



FOTO 7 – Foto da vistoria cautelar primária, tomada 10 meses após o acidente, mostrando posicionamento de partes dos painéis da Cortina 1 (primeiro plano) que ficou aparente na ruína (vide Foto 3) e da Cortina 2 (segundo plano) que ruiu primeiro, tombadas com as faces exteriores voltadas para cima; notar muro de tijolos da testada já recomposto, bem como o desentulhamento do local, expondo a Cortina 2.



FOTO 8 – Detalhe da Cortina 2 (vide foto anterior) mostrando inúmeras cabeças de tirantes intactas, corroborando com a tese pericial de rotura generalizada da obra, de que houve escoamento coletivo dos tirantes, devido à minimização dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do terrapleno, saturado e erodido pelas chuvas intensas que precederam o colapso.

AFONSO PEDRO DE ARAÚJO MAIA

Eng.º Civil - Geotécnico

CREA 21.348-D / RJ

*Rua Lopes Quintas, 187 – J. Botânico
Rio de Janeiro / RJ - CEP 22.460-010
Telefax: (021) 540-7383 - Tels.: (021) 529-8293 – 9917-8182
E-mail: afonso.maia@uol.com.br*

**Currículo
Profissional
Resumido**

**Jan / 68
Set / 99**

FORMAÇÃO

Escola de Engenharia da UFRJ – 1968 / 72

Rio de Janeiro - RJ

Graduação em Eng.ª Civil – 1968 / 72

Especialização em Geotécnica e Fundações – 1972

Escola de Engenharia da UFF – 1994

Niterói - RJ

Especialização em Eng.ª Legal e de Avaliações

RESUMO PROFISSIONAL

Eng.ª Civil – Contratado e Autônomo – atuando desde 1973

Rio de Janeiro – RJ

Eng.º Civil → *Projetos e construções - Obras escavadas – Consultorias – 1973 / 99*

Perito → *Perícias técnicas e judiciais - Agrimensuras - Assistências Técnicas – 1978 / 99*

Perito Judicial → *Perícias de Eng.ª Civil - Varas Cíveis, de Fazenda e de Registro – 1994 / 99*

AP SIS – Avaliações Patrimoniais Ltda. – 1990 / 1994

Rio de Janeiro - RJ

Perito Consultor → *Avaliações de Eng.ª Civil*

Universidade Federal Fluminense – Escola de Engenharia – 1973 / 98

Niterói - RJ

Professor Adjunto → *Desenho Técnico e de Projeto de Eng.ª Civil – 1973 / 97*

Professor Coordenador → *Desenho Técnico – 1990 / 97*

Professor Convidado → *Curso de Eng.ª Legal e de Avaliações - Debates simulados – 1998*

Universidade Veiga de Almeida – Escola de Engenharia – 1976 / 81

Rio de Janeiro - RJ

Professor Titular → *Mecânica dos Solos e Fundações – 1976 / 81*

Professor Chefe de Departamento → *Eng.ª Civil – Membro de Colegiados – 1980 / 81*

Professor Paraninfo → *Turma de Eng.ª Civil – 1979*

ASSOCIAÇÕES

SEAERJ - Sociedade dos Engenheiros e Arquitetos do Estado do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro - RJ

IEL - Instituto de Engenharia Legal

Rio de Janeiro – RJ