

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ PROURB/CE**

**PROJETO EXECUTIVO DO PARAMENTRO CENTRAL DA
BARRAGEM CASTANHÃO EM CONCRETO
COMPACTADO A ROLO**

VOLUME 3 - Memória de Cálculo

ENGESOFT

**FORTALEZA
DEZEMBRO DE 1999**



Projeto Barragem Castanhão
Volume 3 – Memória de Cálculo

SUMÁRIO

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO	6
2.1 <i>Introdução</i>	6
2.2 <i>Geometria da seção transversal tipo</i>	6
2.3 <i>Condições de carregamento</i>	6
2.4 <i>Critérios de Análise</i>	7
2.5 <i>Resultados de Análise</i>	7
2.6 <i>Conclusões</i>	9
3. CALCULO HIDROLÓGICO E HIDRAULICO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ENSECADEIRA DO CASTANHÃO	34
3.1 <i>Introdução</i>	34
3.2 <i>Aspectos Hidrologicos</i>	35
3.3 <i>Os Estudos Hidráulicos da Seção Estrangulada</i>	37
3.4 <i>Os Aspectos Ambientais</i>	38
3.5 <i>Considerações Finais e Conclusões</i>	38
4. DIMENSIONAMENTO DA GALERIA DE DESCARGA	40
4.1 <i>Escoamento Pela Galeria da Tomada D'água</i>	40
4.2 <i>Escoamento Pela Galeria da Descarga de Fundo</i>	41
4.3 <i>Conclusões</i>	42

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A Engesoft- Engenharia e Consultoria S/C Ltda vem apresentar à SRH o **Volume 3 Memória de Cálculo** do Projeto Executivo do Paramento Central da Barragem do Castanhão, em concreto compactado com rolo, no município de Jaguaribara-CE, conforme o contrato n ° 06/99-SRH

O presente relatório apresenta as memórias de cálculo, as planilhas com os resultados obtidos, os gráficos e as conclusões com recomendações da análise da estabilidade do maciço de concreto, sob todas as possíveis situações de carregamento, e o dos estudos hidrológicos-hidráulicos para desvio do rio e dimensionamento das ensecadeiras

2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO

2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO MACIÇO DE CONCRETO

2.1. INTRODUÇÃO

A análise da estabilidade da seção proposta para a barragem de CCR foi realizada para a verificação da compatibilidade da seção transversal projetada com os critérios de estabilidade, sob todas as condições de carregamento.

A análise foi excetuada pelo método bidimensional do equilíbrio unitário usando uma rotina em Excel desenvolvida especialmente para barragens de gravidade de concreto. As solicitações sísmicas para a análise foram calculadas pelo Método Simplificado de Chopra¹

2.2. GEOMETRIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO

A seção transversal proposta é típica de barragem de gravidade, com o paramento de montante vertical e talude de jusante com uma inclinação de 0,75 (H)·1 00 (V) O ponto de interseção da face de montante com o prolongamento da linha do talude de jusante está na cota 111,00 A largura da crista do barramento tem 7,0 m, a fundação na seção máxima da barragem é considerada na cota 43,00 e, portanto, a altura máxima da barragem é de 68,00 m

Uma galeria de drenagem e injeções foi indicada na região inferior da seção, o mais próximo da superfície da fundação rochosa que a prática da engenharia recomenda.

A galeria, com 2,0 m de largura e 2,50 m de altura, foi idealizada com sua parede de montante distando 5,0 m da face do paramento de montante da barragem. A linha dos drenos da fundação foi considerada a 6,50 m do pé de montante da barragem

Uma seção com altura intermediária também foi analisada, para as mais críticas condições de carregamento, com o objeto de determinar a redução na coesão necessária para as situações de cotas elevadas Uma seção transversal com fundação na cota 62,00 (cerca de 2/3 da seção de maior altura) foi selecionada para essa análise.

2.3. CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

¹ Chopra, Anil K "Earthquake Resistant Design of Concrete Gravity Dams" Journal of the Structural division, ASCE, June 1978

Condições de Carregamento

Caso n°	Descrição	Cota do nível d'água		Cota do topo do sedimento
		no reservatório	à jusante	
1	Nível normal de funcionamento do reservatório	100,00	53,00	57,00
1 ^A	Nível máximo para o controle das enchentes (topo das comportas)	106,00	53,00	57,00
2	Nível na máxima enchente provável	110,00	63,50	57,00
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	106,00	53,00	57,00
2 ^A	Nível na máxima enchente provável - Dreno não operante	110,00	63,50	57,00

Os efeitos de sub-pressão foram considerados em todas as condições de carregamento. A intensidade da sub-pressão foi considerada variável ao longo da base da barragem, sendo igual a pressão total da coluna d'água do reservatório no pé de montante, igual a 1/3 da diferença entre o nível do reservatório e o da lâmina d'água de jusante na linha dos drenos e igual a pressão da lâmina de jusante no pé de jusante da barragem. Entre esse pontos a variação foi admitida linear

Para uma situação limite dos drenos não funcionarem durante a Enchente Máxima Provável, foi considerada uma sub-pressão igual a lâmina de montante até onde surgem esforços de tração, ou seja onde podem ocorrer trincas, e a partir desse ponto a sub-pressão variando linearmente até o nível de jusante

2.4. CRITÉRIOS DE ANÁLISE

- Pêso específico do concreto = 2,352 t/m³
- Pêso específico do sedimento = 1,70 t/m³
- Modulo de Elasticidade do concreto = 20,000 MPa
- Aceleração devido a abalos sísmicas - Horizontal = 0,07g
Vertical = 0,047 g (2/3 da horizontal)

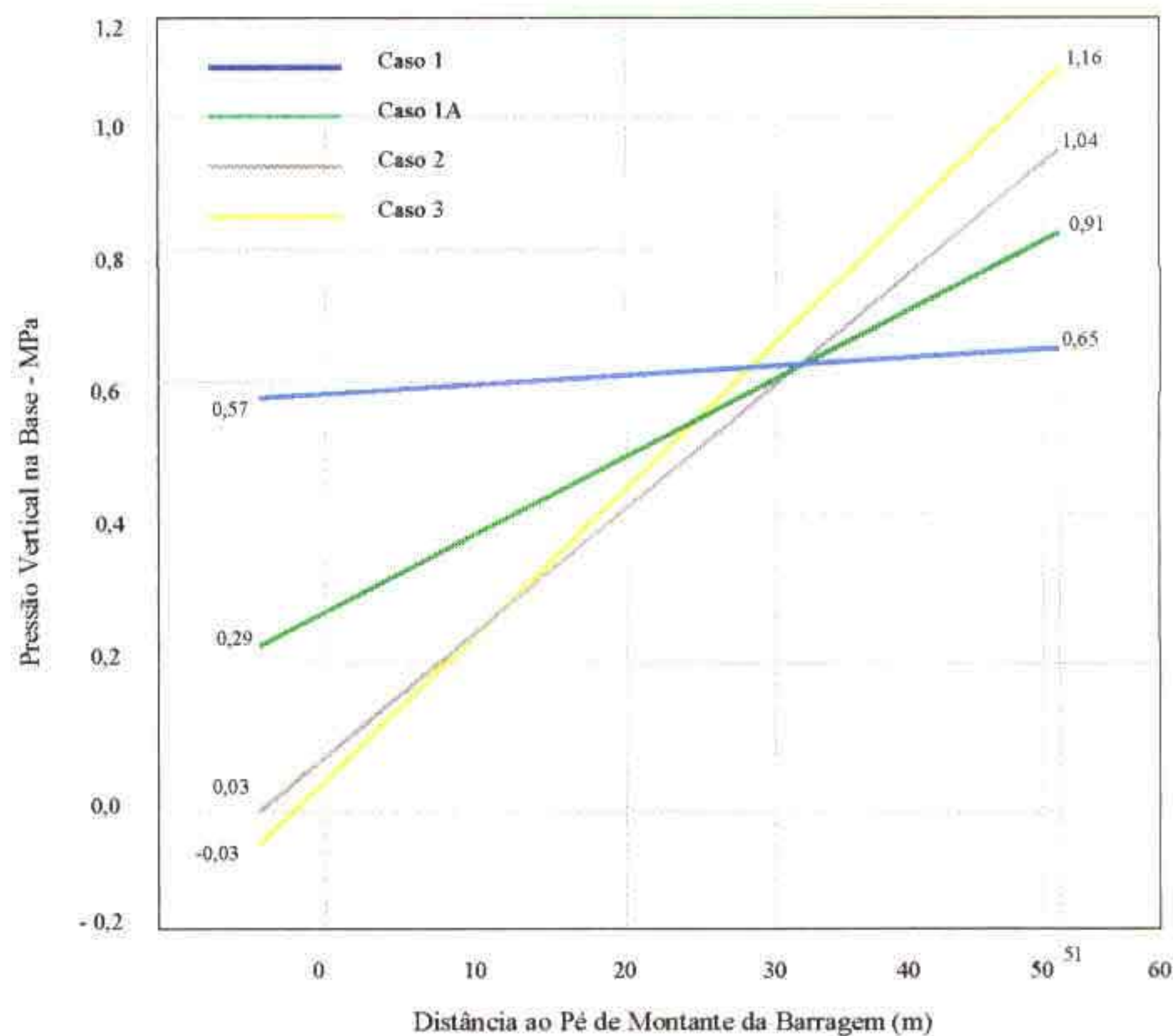
2.5. RESULTADOS DE ANÁLISE

A tabela seguinte resume os resultados da análise de estabilidade da seção máxima da barragem e de uma seção intermediária para várias condições de carregamento. Tensões verticais atuantes nos pés de montante e jusante da barragem também são apresentadas na Tabela, assim como as coesões exigidas. Os valores das coesões são os necessários para se obter fatores de segurança coerentes para as várias condições de carregamento, considerando um ângulo de atrito de 45°.

Caso n°	Descrição	Tensões Admissíveis (MPa)		Fator de Segurança	Coesão (MPa) *
		Montante	Jusante		
Fundação na Cota 43,00					
1	Nível normal de funcionamento do reservatório	0,57	0,65	3,0	0,37
1A	Nível máximo para o controle das enchentes (topo das comportas)	0,29	0,91	3,0	0,60
2	Nível na máxima enchente provável	0,03	1,04	2,0	0,31
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	0,03	1,16	1,24	0,00
2A	Nível na máxima enchente provável - Dreno não operante	0,00	0,25	1,34 flutuação 1,00	0,69
Fundação na Cota 65,00					
1A	Nível máximo para o controle das enchentes (topo das comportas)	0,30	0,59	3,0	0,29
3	Nível máximo para o controle das enchentes e sismo com aceleração horizontal de 0,07 g	0,06	0,78	1,47	0,00

* Coesão necessária para a obtenção do fator de segurança proposto e $\phi=45^\circ$

A distribuição das tensões na base da barragem, na seção máxima, para as várias condições de carregamento é apresentada na Figura seguinte:



2.6. CONCLUSÕES

- A seção transversal proposta para a barragem de CCR atende os critérios de estabilidade para todas as condições de carregamento admitidas.
- As tensões máximas atuante no pé de montante da barragem variam de 1,16 a 0,65 MPa. Considerando os fatores de segurança apropriados, um traço de concreto CCR com resistência a compressão de cerca de 4,0 MPa seria teoricamente suficiente para atender as solicitações de compressão. Este valor é bem inferior a resistência a compressão proposto para a mistura de CCR projetada.
- Tensões de tração não se desenvolvem na base da barragem com excessão de insignificantes parcelas no pé de montante da barragem, calculadas em 0,03 MPa, sob a condição de máxima enchente provável e de abalo sísmico de 0,07 g de aceleração horizontal.
- Considerando um ângulo de atrito (ϕ) de 45°, a coesão máxima necessária no contanto com a fundação rochosa e no concreto próximo da base da barragem é cerca de 0,6

MPa, um traço de CCR projetado para uma resistência a compressão maior que 6 MPa provavelmente exibirá uma coesão maior que esse valor

- e) Para uma enchente máxima provável foi simulada a situação limite dos drenos não operantes e verificada a segurança à flutuante do maciço. Obteve-se um fator de 1,31, praticamente igual ao valor mínimo de 1,30 admitido para esse carregamento. No entanto, nessa situação foram verificadas tensões de tração até uma distancia de 37,04 m a partir da face de montante, o que considerando a possibilidade de ocorrência de trincas até esse limite, proporcionou fator de segurança de 1,00 para coesão do concreto CCR de 0,69 MPa e ângulo de atrito de 45° . Para assegurar um fator de segurança mínimo de 1,00, valor esse sugerido pelo USBR, deve-se adotar um concreto com uma coesão maior que 0,70 MPa, ou seja um traço com resistência a compressão entre 8 e 10 MPa
- f) No nível intermediário, cota 65,00, a coesão necessária no contacto com a fundação e no concreto próximo da base da barragem reduz-se a 0,3 MPa, o que poderia propiciar a adoção de uma resistência menor do traço do CCR para a barragem em cota superiores a essa
- g) A rocha de fundação é de boa qualidade e a coesão no contacto com a fundação deverá ser igual ou melhor do que no corpo da barragem, caso o contacto da fundação seja preparado adequadamente e de acordo com as especificações.

BARRAGEM DO CASTANHÃO

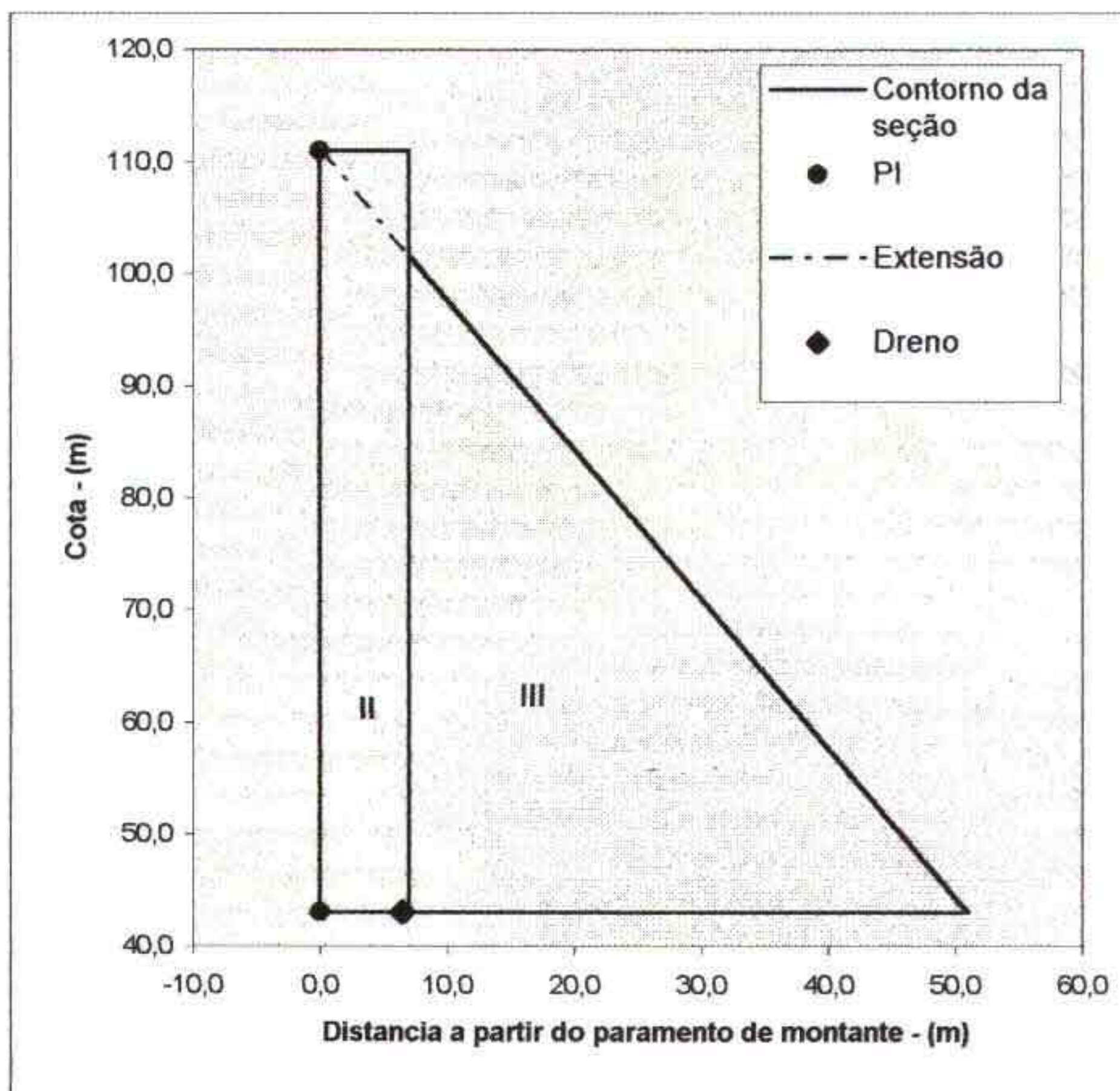
Caso 1, Reservatório no nível máximo normal

Geometria

	Montante	Jusante	Base W
Cota do Coroamento	111,0	111,0	Crack Base 0 (à montante do dreno)
Cota da Fundação	43,0	43,0	
Largura da crista	7,0		
Cota dos P.I.	43,0	111,0	
Talude	0,00	0,750	
Largura da crista	0,00	51,0	51,0

Localização do dreno	6,5
Eficiência do dreno	0,33

Seção	k	W	H	Área	X	Momento	Y	Momento
I	0,50	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,00	0
II	1,00	7,0	68,0	476,0	3,50	1666	34,00	16184
III	0,50	44,0	58,7	1290,7	21,67	27964	19,56	25240
				1766,7	16,77	29630	23,45	41424



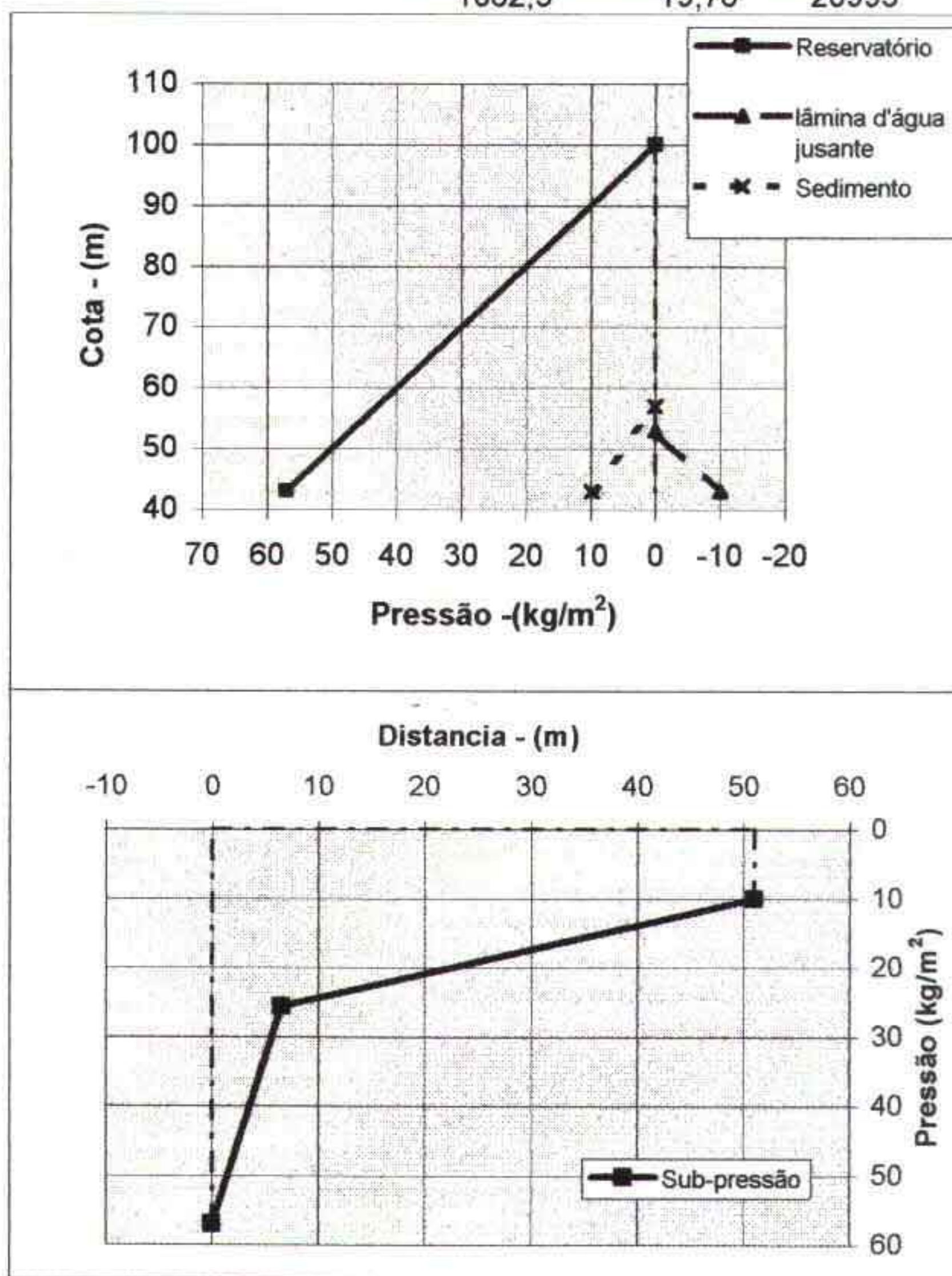
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1, Reservatório no nível máximo normal

	Cotas	
Cota do Reservatório	100,0	53,0
Cota do Topo do Sedimento	57,0	
Cota da base do sedimento	43,0	
Lâmina d'água	57,0	10,0
Altura de Sedimento	14,0	

Peso Específico	
Concreto	2,352
Sedimento	1,700
Efetivo (submerso)	0,7000
água	1,0000

	Pressão	Altura	Força	Braço	F * A	
Água no reservatório	57,00	57,0	1624,5	19,00		
Sedimento	9,80	14,0	68,6	4,67		
Água à jusante	10,00	10,0	-50,0	3,33		
	k	W	H	Peso	Braço	Momento
Talude de montante vertical	0,50	0,00	0,00	0,0	0,00	0
	1	0,00	57,0	0,0	0,00	0
				0,0	0,00	0
	Pressão	Largura	Força	Braço	F * A	
U1	10,00	51,0	510,0	25,50	13005	
U2	15,67	6,5	101,8	3,25	331	
U3	31,33	6,5	101,8	2,17	221	
U3a	31,33	0,0	0,0	0,00	0	
U4	15,67	44,5	348,6	21,33	7436	
			1062,3	19,76	20993	



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Stress Conversion: 100

Caso 1, Reservatório no nível máximo normal

Resumo das cargas resultantes

Cargas	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Peso do maciço	4155		16,77	69691
Água à montante				
Horizontal		1625	19,00	30866
Vertical	0		0,00	0
Água à jusante				
Horizontal		-50	3,33	-167
Vertical	38		48,50	1819
Sedimento		69	4,67	320
Sub-pressão	-1062		19,76	-20993
Totais	3130	1643	26,05	81535

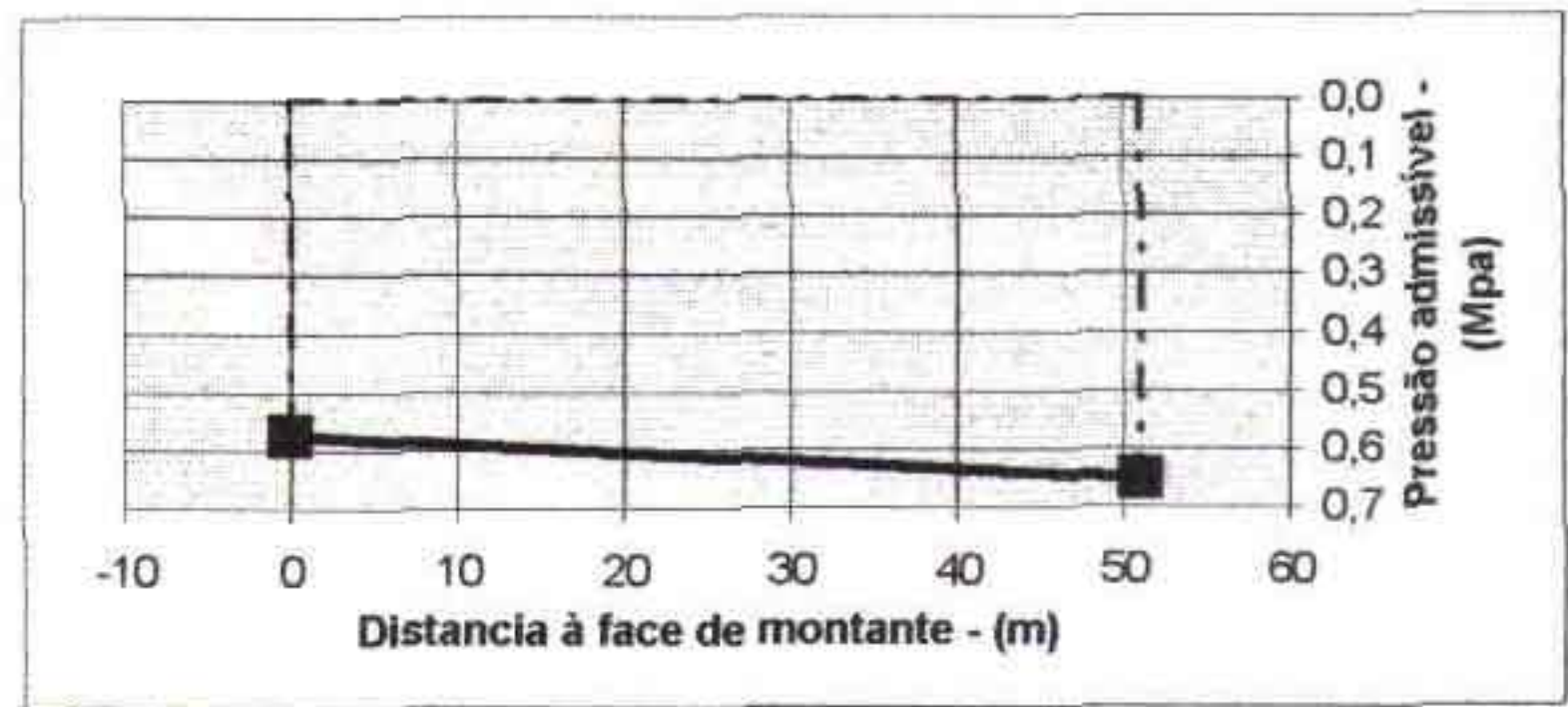
* Braço medido a partir da face de montante, sendo positivo no sentido jusante

Tombamento

$e = 0,55$
 $6e/B = 0,06$

Tensões admissíveis

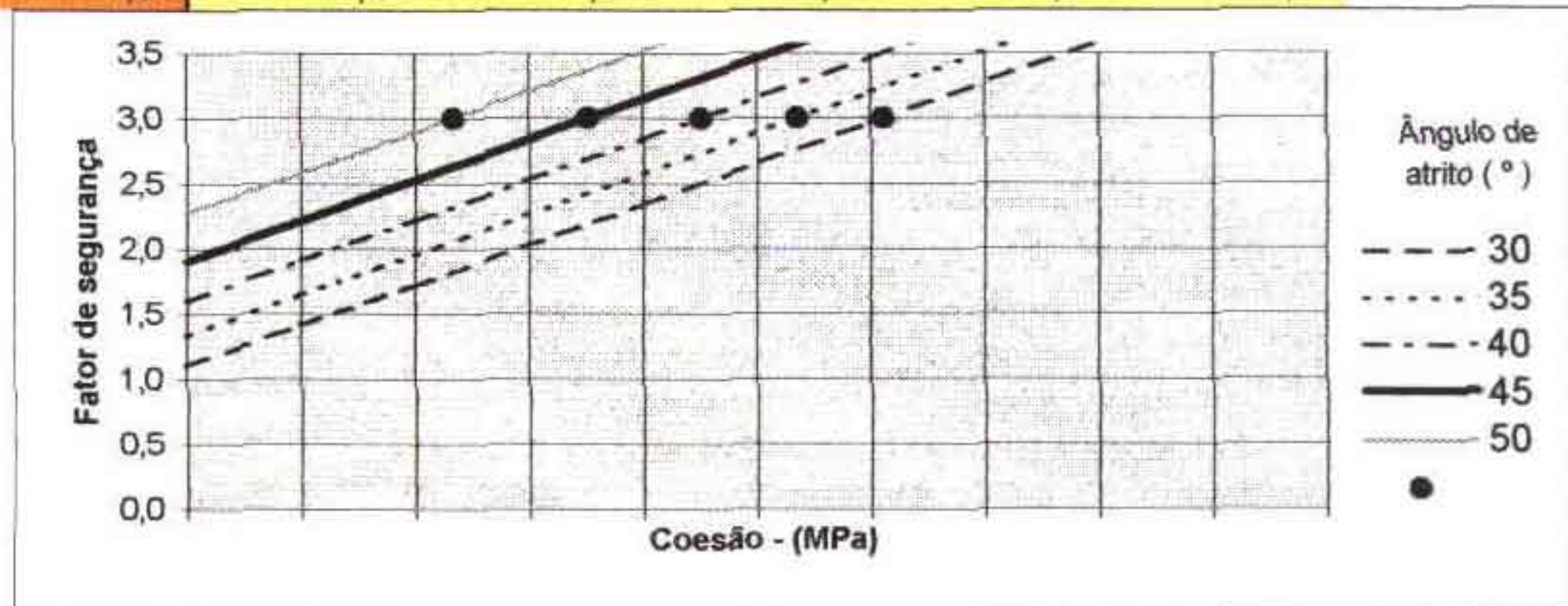
	Kg/m ²	Mpa
Montante	57,44	0,57
Jusante	65,32	0,65



Deslizamento

Fator de Segurança

ângulo de atrito (°)		30	35	40	45	50
Coesão = Mpa	0,00	1,10	1,33	1,60	1,91	2,27
	0,10	1,41	1,64	1,91	2,22	2,58
	0,20	1,72	1,95	2,22	2,53	2,89
	0,40	2,34	2,58	2,84	3,15	3,51
	0,60	2,96	3,20	3,46	3,77	4,13
	0,80	3,58	3,82	4,08	4,39	4,75
	1,00	4,20	4,44	4,70	5,01	5,37



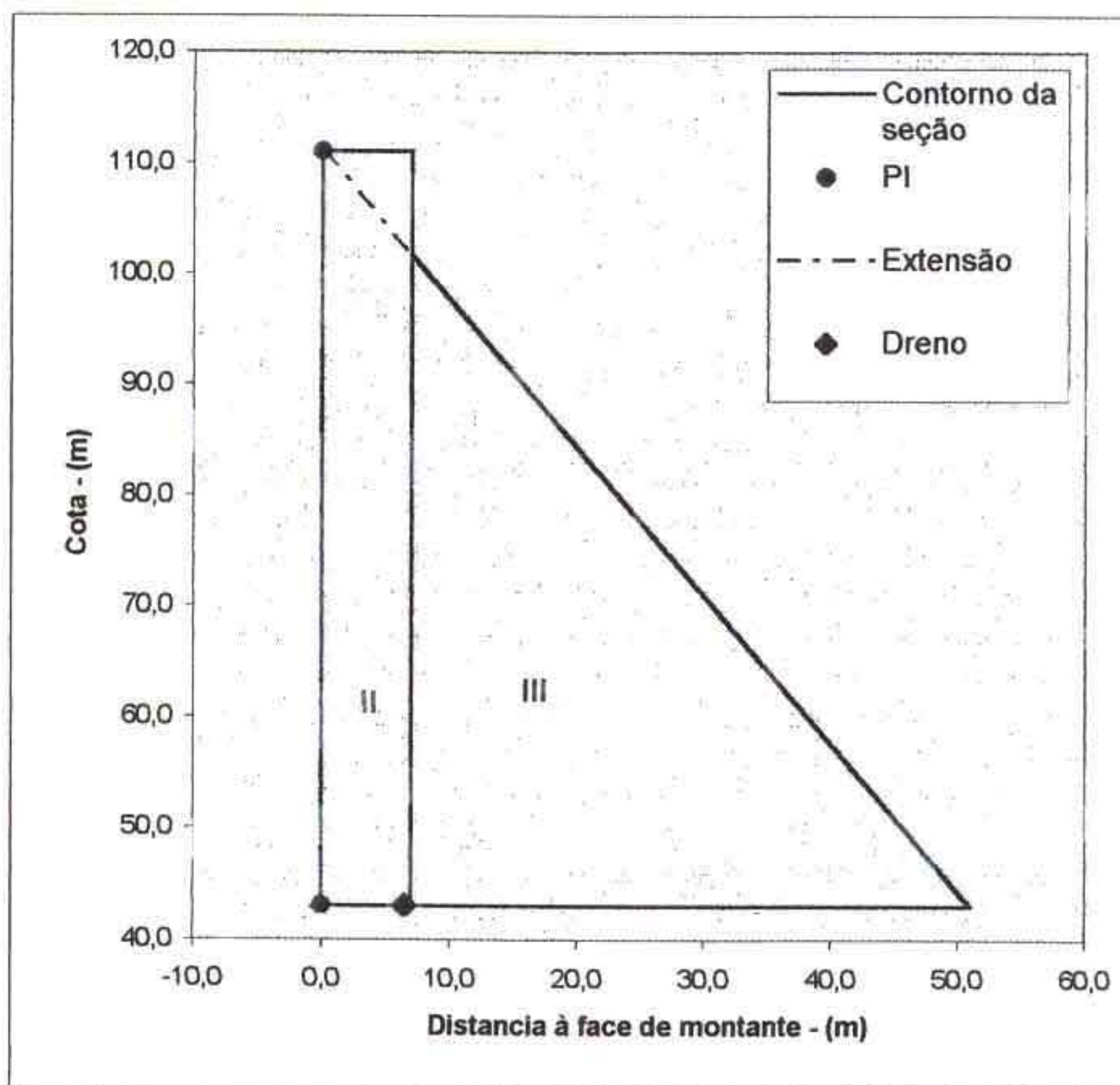
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização das enchentes

Geometria

	Montante	Jusante	Base W	
Cota da crista da barragem	111,0	111,0		Crack Base 0
Cota da fundação	43,0	43,0		(à montante do dreno)
Largura da crista	7,0			
Cotas dos P.I.	43,0	111,0		
Taludes	0,00	0,750		
Largura da base	0,00	51,0	51,0	
Localização do dreno	6,5			
Eficiência do dreno	0,33			

Seção	k	W	H	Area	X	Momento	Y	Momento
I	0,50	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,00	0
II	1,00	7,0	68,0	476,0	3,50	1666	34,00	16184
III	0,50	44,0	58,7	1290,7	21,67	27964	19,56	25240
				1766,7	16,77	29630	23,45	41424



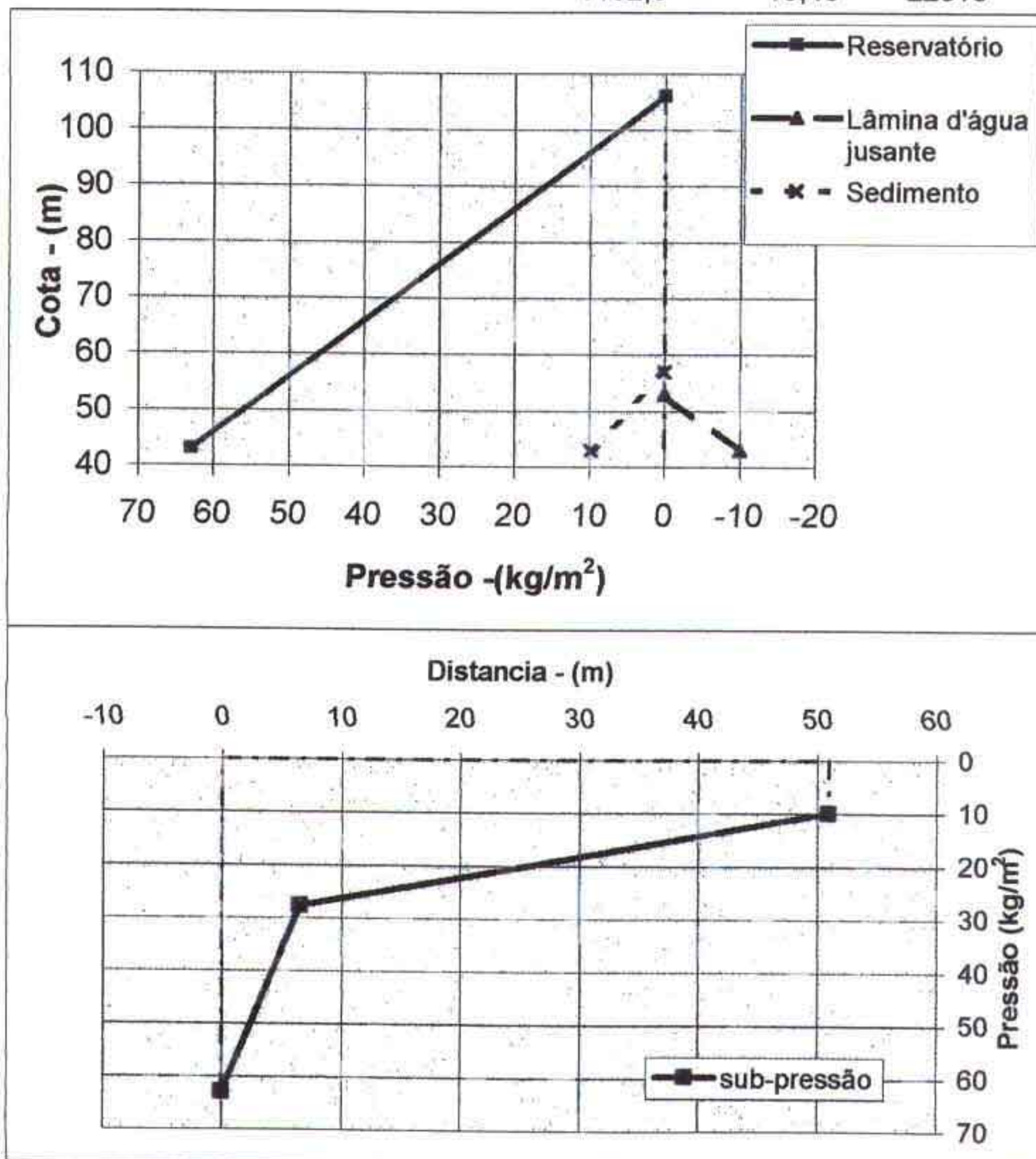
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização das enchentes

	Cotas	
Cota da crista da barragem	106,0	53,0
Cota da fundação	57,0	
Cota do topo do sedimento	43,0	
Lâmina d'água	63,0	10,0
Altura do sedimento	14,0	

Peso específico	
Concreto	2,352
Sedimento	1,700
Sedimento submerso	0,7000
Água	1,0000

	Pressão	Altura	Força	Braço	F * A
Água no reservatório	63,00	63,0	1984,5	21,00	
Sedimento	9,80	14,0	68,6	4,67	
Lâmina d'água a jusante	10,00	10,0	-50,0	3,33	
	k	W	H	Peso	Braço Momento
Talude de montante vertical	0,50	0,00	0,00	0,0	0,00
	1	0,00	63,0	0,0	0,00
				0,0	0,00
	Pressão	Largura	Força	Braço	F * A
U1	10,00	51,0	510,0	25,50	13005
U2	17,67	6,5	114,8	3,25	373
U3	35,33	6,5	114,8	2,17	249
U3a	35,33	0,0	0,0	0,00	0
U4	17,67	44,5	393,1	21,33	8386
			1132,8	19,43	22013



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Stress Conversion: 100

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização das enchentes

Resumo das cargas resultantes

Carga	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Peso do maciço	4155		16,77	69691
Água no reservatório				
Horizontal		1985	21,00	41675
Vertical	0		0,00	0
Lâmina d'água a jusante				
Horizontal		-50	3,33	-167
Vertical	38		48,50	1819
Sedimento		69	4,67	320
Sub-pressão	-1133		19,43	-22013
Totais	3060	2003	29,85	91325

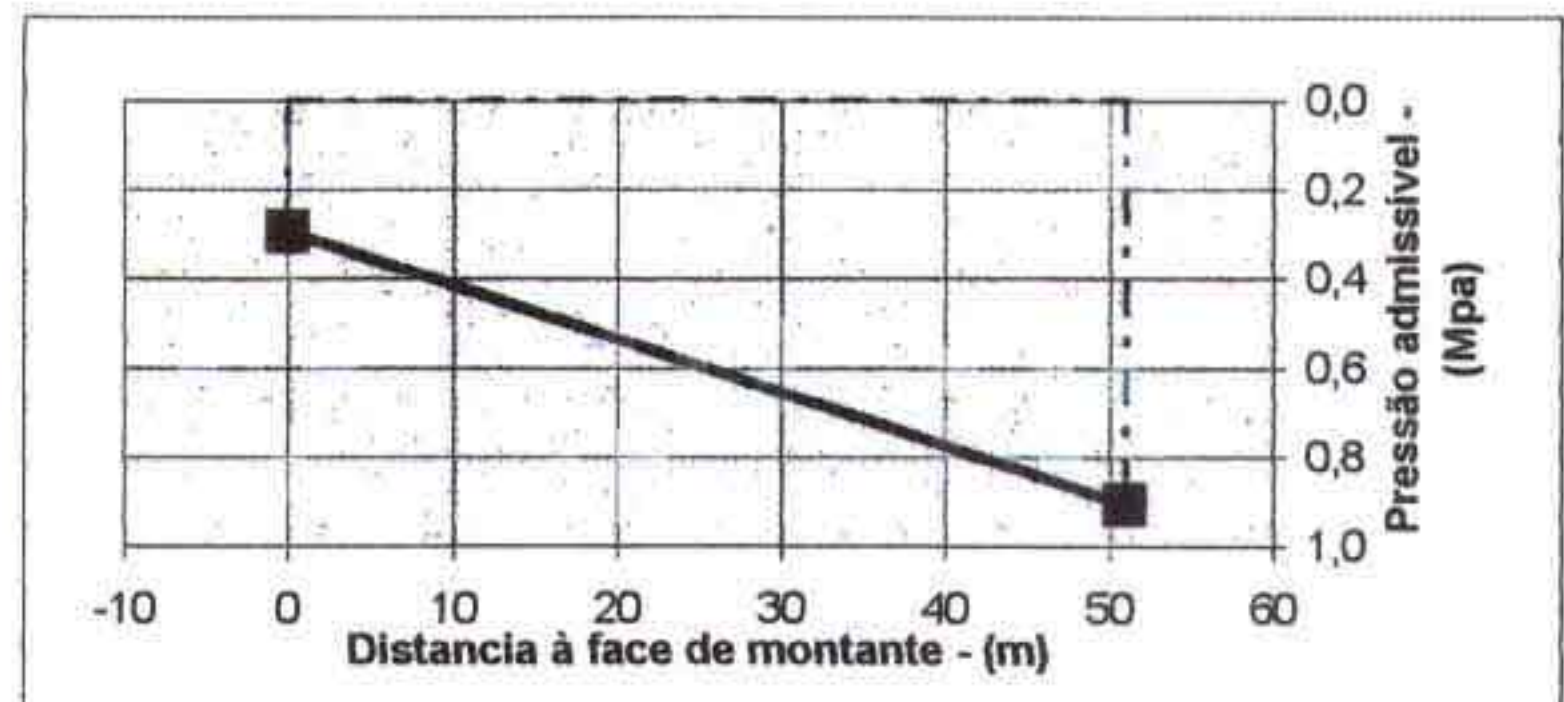
* Braço medido apartir da face de montante, positivo no sentido jusante

Tombamento

$e = 4,35$
 $6e/B = 0,51$

Tensões admissíveis

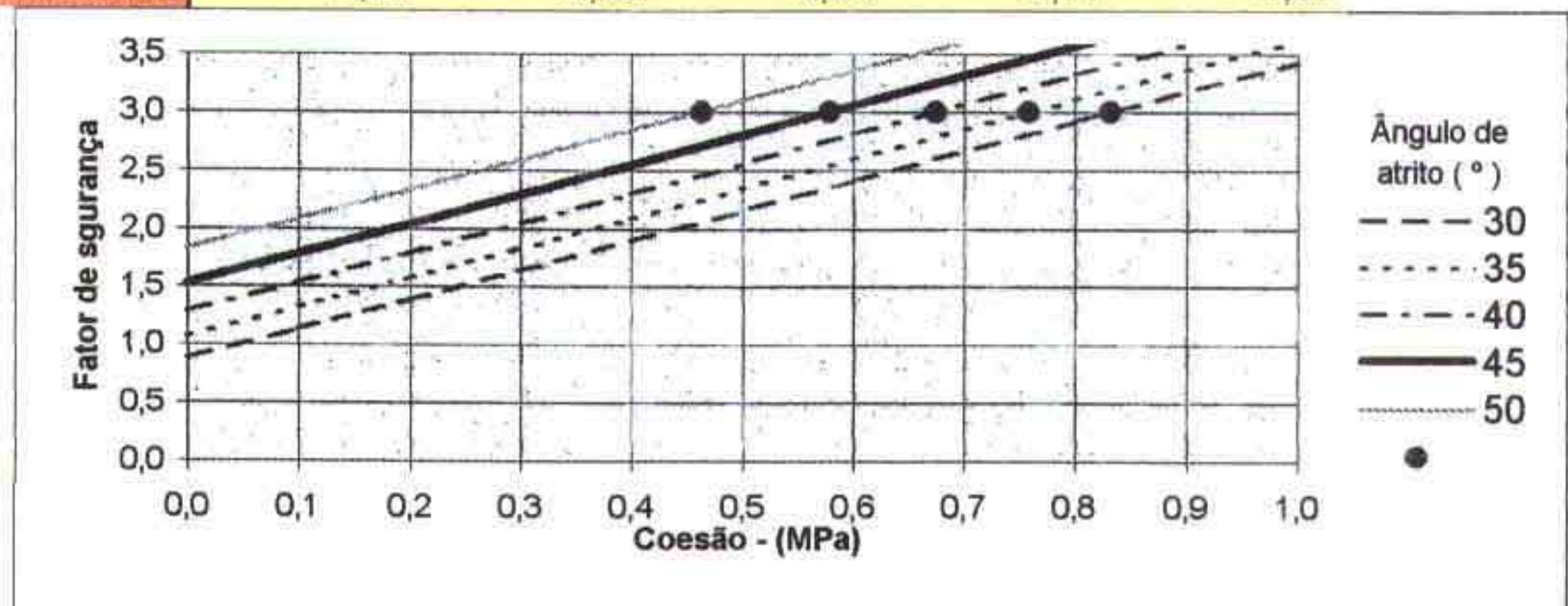
	Kg/m ²	Mpa
Montante	29,33	0,29
Jusante	90,67	0,91



Escorregamento

Fator de segurança

Ângulo de atrito =	Fator de segurança					
Cosão =	30	35	40	45	50	
0,00	0,88	1,07	1,28	1,53	1,82	
0,10	1,14	1,32	1,54	1,78	2,08	
0,20	1,39	1,58	1,79	2,04	2,33	
0,40	1,90	2,09	2,30	2,55	2,84	
0,60	2,41	2,60	2,81	3,06	3,35	
0,80	2,92	3,11	3,32	3,56	3,86	
1,00	3,43	3,62	3,83	4,07	4,37	



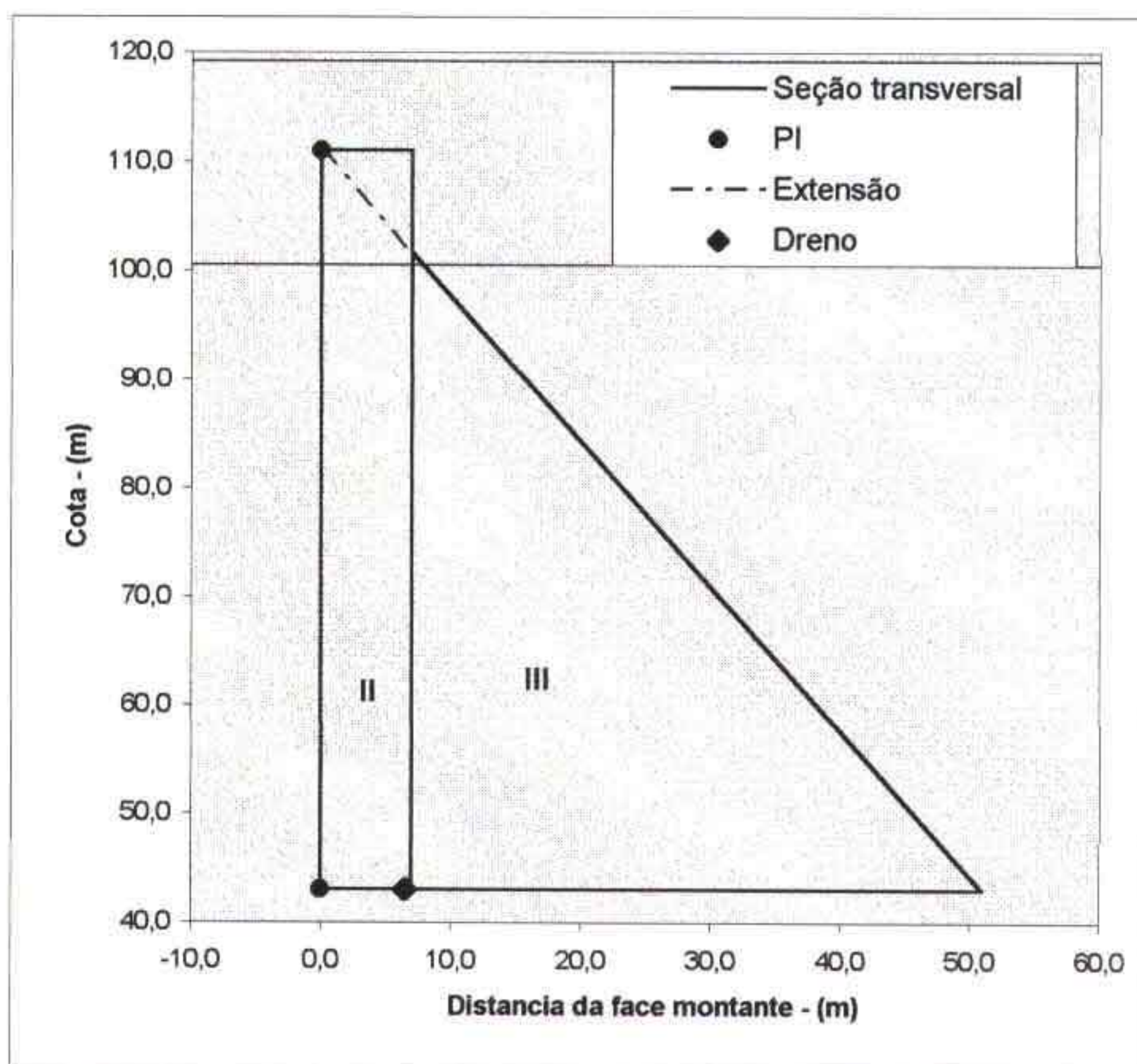
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 2, Nível d'água máximo provável do reservatório

Geometria

	Montante	Jusante	Total base	
Cota do topo da barragem	111,0	111,0		Crack Base 0
Cota da fundação da barragem	43,0	43,0		(à montante do local do dreno)
Largura da crista	7,0			
Cota PI	43,0	111,0		
Talude	0,00	0,750		
Largura da base	0,00	51,0	51,0	
Localização do dreno	6,5			
Eficiência do dreno	0,33			

Seção	k	Largura	Altura	Area	X	Momento	Y	Momento
I	0,50	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,00	0
II	1,00	7,0	68,0	476,0	3,50	1666	34,00	16184
III	0,50	44,0	58,7	1290,7	21,67	27964	19,56	25240
				1766,7	16,77	29630	23,45	41424



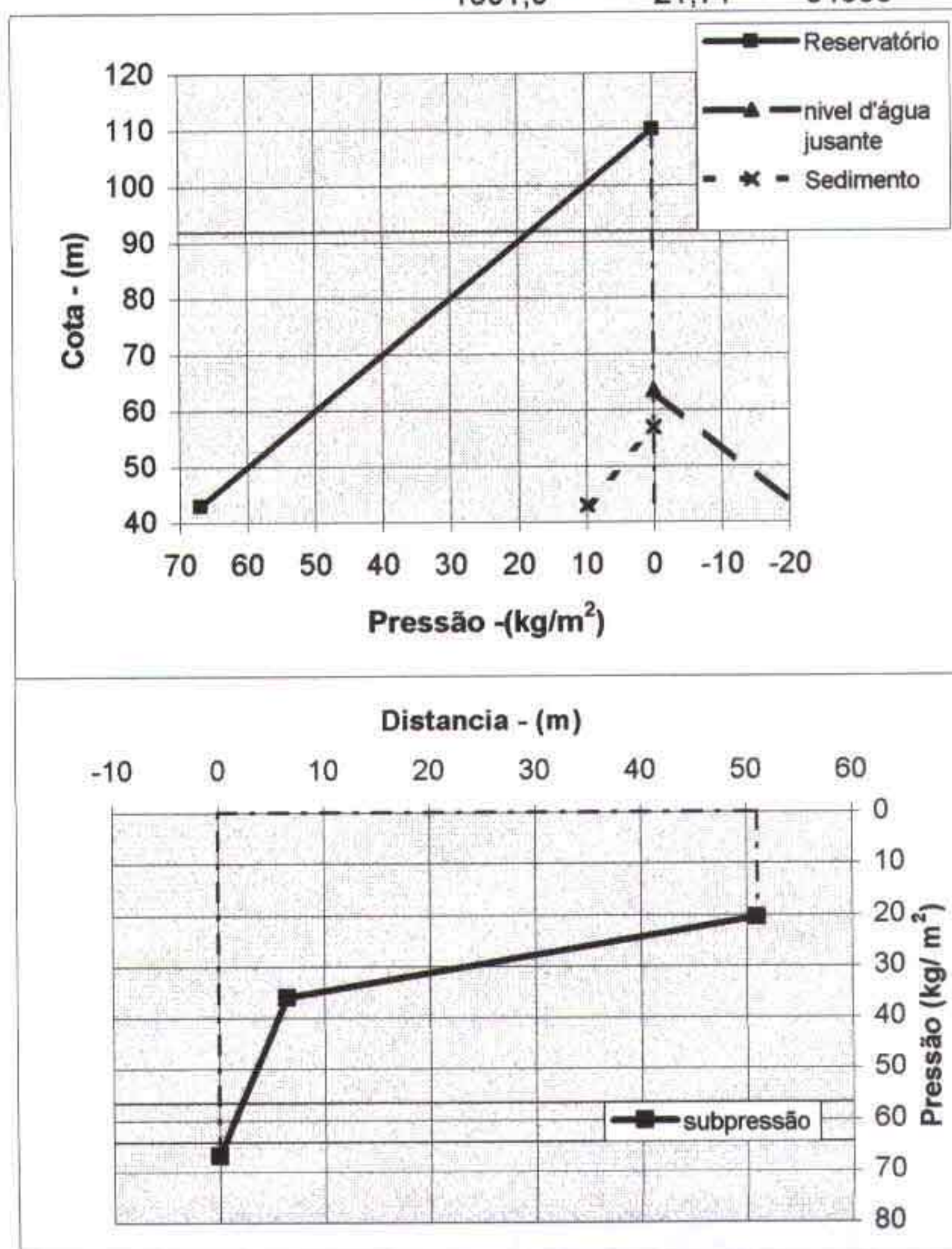
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 2, Nível d'água máximo provável do reservatório

	Montante	Jusante
Cota do nível d'água	110,0	63,5
Cota do topo do sedimento	57,0	
Cota do fundo do sedimento	43,0	
Coluna d'água	67,0	20,5
Altura de sedimento	14,0	

Peso específico	
Concreto	2,352
Total do Sedimento	1,700
Efetivo Sedimento (Sub)	0,7000
Água	1,0000

	Pressão	Altura	Força	Braço	F * A
Carga hidrostática à montante	67,00	67,0	2244,5	22,33	
Sedimento siltoso	9,80	14,0	68,6	4,67	
Carga hidrostática à jusante	20,50	20,5	-210,1	6,83	
	k	W	H	peso	Braço Momento
Montante Vertical	0,50	0,00	0,00	0,0	0,00
	1	0,00	67,0	0,0	0,00
				0,0	0,00
	Pressão	Largura	Força	Braço	F * A
Subpressão					
U1	20,50	51,0	1045,5	25,50	26660
U2	15,50	6,5	100,8	3,25	327
U3	31,00	6,5	100,8	2,17	218
U3a	31,00	0,0	0,0	0,00	0
U4	15,50	44,5	344,9	21,33	7357
			1591,9	21,71	34563



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Stress Conversion: 100

Caso 2, Nível d'água máximo provável do reservatório

Resumo das cargas resultantes

Carregamento	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Peso da barragem	4155		16,77	69691
Água à montante				
Horizontal		2245	22,33	50127
Vertical	0		0,00	0
Água à jusante				
Horizontal		-210	6,83	-1436
Vertical	158		45,88	7230
Sedimento		69	4,67	320
Subpressão	-1592		21,71	-34563
Totais	2721	2103	33,58	91369

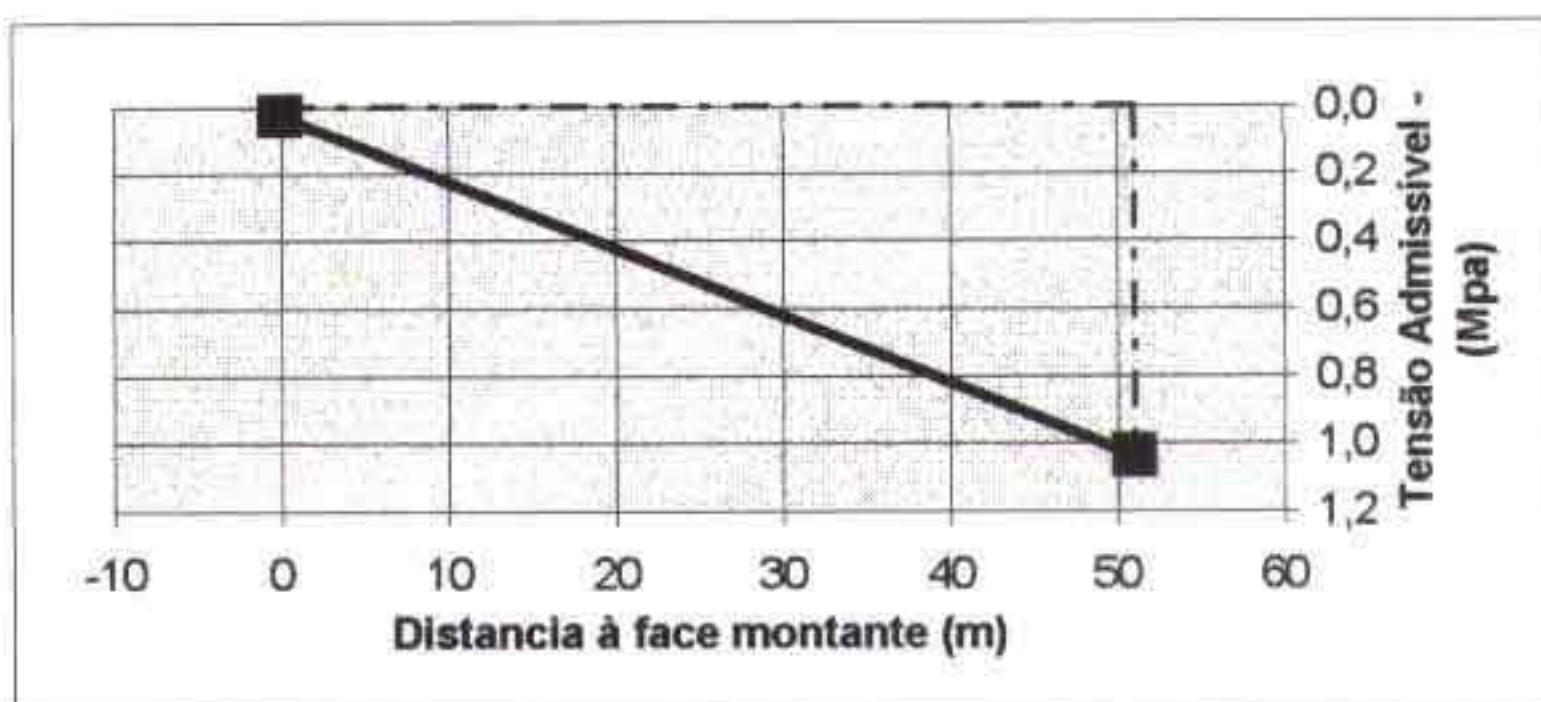
* Braço medido a partir da face montante, sentido montante positivo

Tombamento:

e = 8,08
6e/B = 0,95

Tensões Admissíveis:

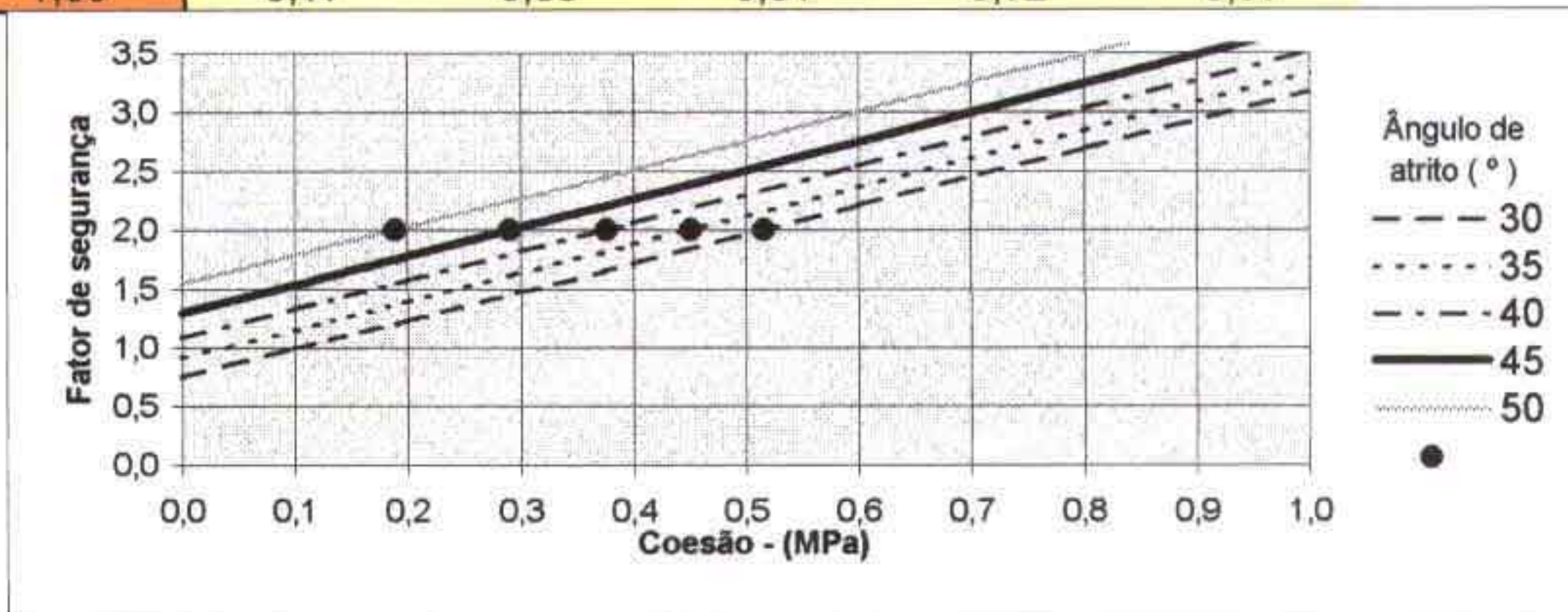
	Kg/m ²	Mpa
Montante	2,64	0,03
Jusante	104,07	1,04



Escorregamento:

FATOR DE SEGURANÇA

ângulo de atrito(°)	FATOR DE SEGURANÇA					
Coesão (Mpa) =	30	35	40	45	50	
0,00	0,75	0,91	1,09	1,29	1,54	
0,10	0,99	1,15	1,33	1,54	1,78	
0,20	1,23	1,39	1,57	1,78	2,03	
0,40	1,72	1,88	2,06	2,26	2,51	
0,60	2,20	2,36	2,54	2,75	3,00	
0,80	2,69	2,85	3,03	3,23	3,48	
1,00	3,17	3,33	3,51	3,72	3,97	



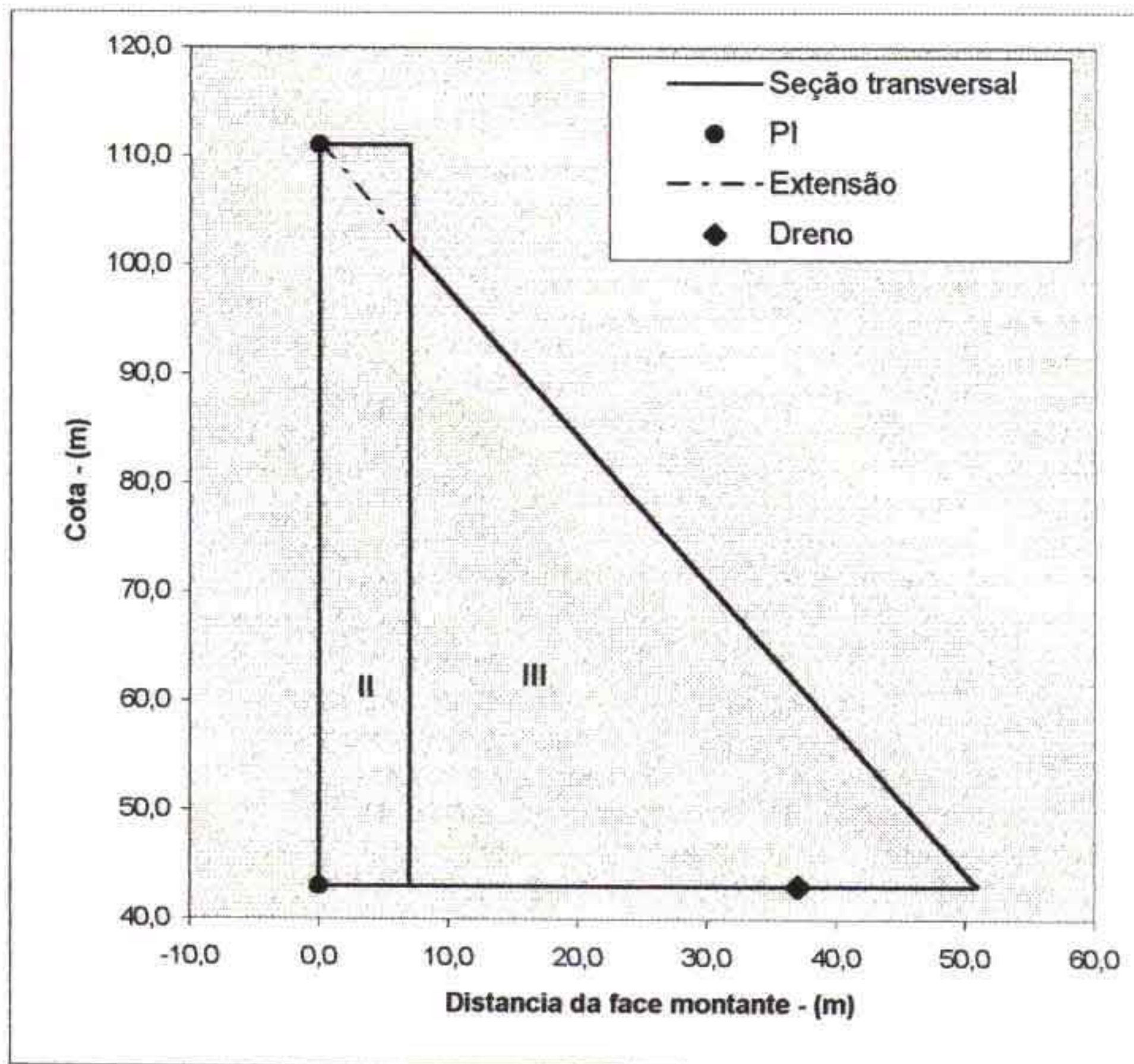
BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 2 A, Nível d'água máximo provável do reservatório(dreno não operante)

Geometria

	Montante	Jusante	Total base	
Cota do topo da barragem	111,0	111,0		Crack Base 37,04
Cota da fundação da barragem	43,0	43,0		(à montante do local do dreno)
Largura da crista	7,0			
Cota PI	43,0	111,0		
Talude	0,00	0,750		
Largura da base	0,00	51,0	51,0	
Localização do dreno	37,0			
Eficiência do dreno	1,00			

Seção	k	Largura	Altura	Area	X	Momento	Y	Momento
I	0,50	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,00	0
II	1,00	7,0	68,0	476,0	3,50	1666	34,00	16184
III	0,50	44,0	58,7	1290,7	21,67	27964	19,56	25240
				1766,7	16,77	29630	23,45	41424

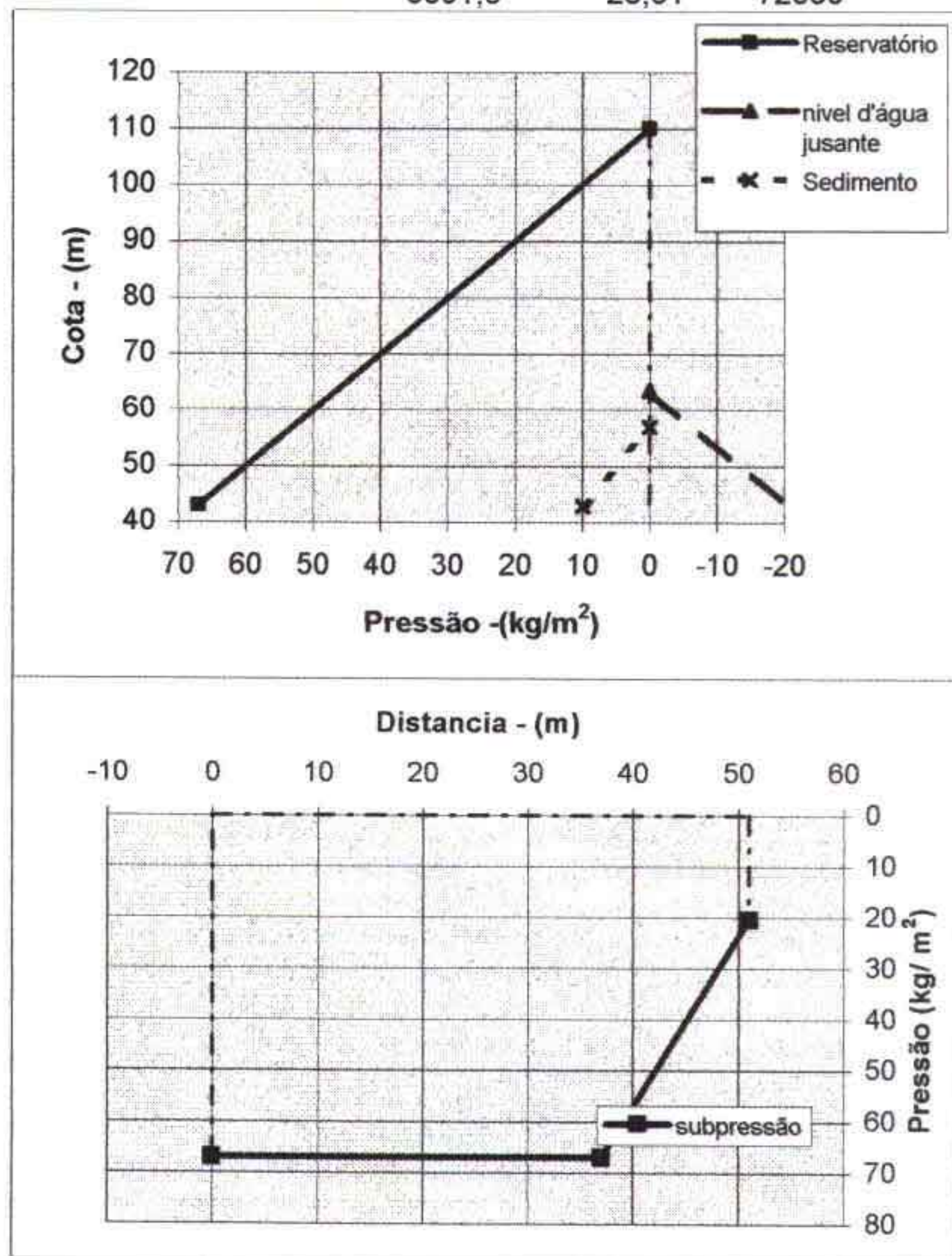


BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 2 A, Nível d'água máximo provável do reservatório(dreno não operante)

	Montante	Jusante	Peso específico	
Cota do nível d'água	110,0	63,5	Concreto	2,352
Cota do topo do sedimento	57,0		Total do Sedimento	1,700
Cota do fundo do sedimento	43,0		Efetivo Sedimento (Sub)	0,7000
Coluna d'água	67,0	20,5	Água	1,0000
Altura de sedimento	14,0			

	Pressão	Altura	Força	Braço	F * A	
Carga hidrostática à montante	67,00	67,0	2244,5	22,33		
Sedimento siltoso	9,80	14,0	68,6	4,67		
Carga hidrostática à jusante	20,50	20,5	-210,1	6,83		
	k	W	H	peso	Braço	Momento
Montante Vertical	0,50	0,00	0,00	0,0	0,00	0
	1	0,00	67,0	0,0	0,00	0
				0,0	0,00	0
	Pressão	Largura	Força	Braço	F * A	
Subpressão						
U1	20,50	51,0	1045,5	25,50	26660	
U2	46,50	37,0	1720,5	18,50	31829	
U3	0,00	0,0	0,0	37,00	0	
U3a	0,00	37,0	0,0	18,50	0	
U4	46,50	14,0	325,5	41,69	13570	
			3091,5	23,31	72060	



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Stress Conversion: 100

Caso 2 A, Nível d'água máximo provável do reservatório(dreno não operante)

Resumo das cargas resultantes

Carregamento	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Peso da barragem	4155		16,77	69691
Água à montante				
Horizontal		2245	22,33	50127
Vertical	0		0,00	0
Água à jusante				
Horizontal		-210	6,83	-1435
Vertical	158		45,88	7230
Sedimento		69	4,67	320
Subpressão	-3092		23,31	-72060
Totais	1221	2103	44,11	53873

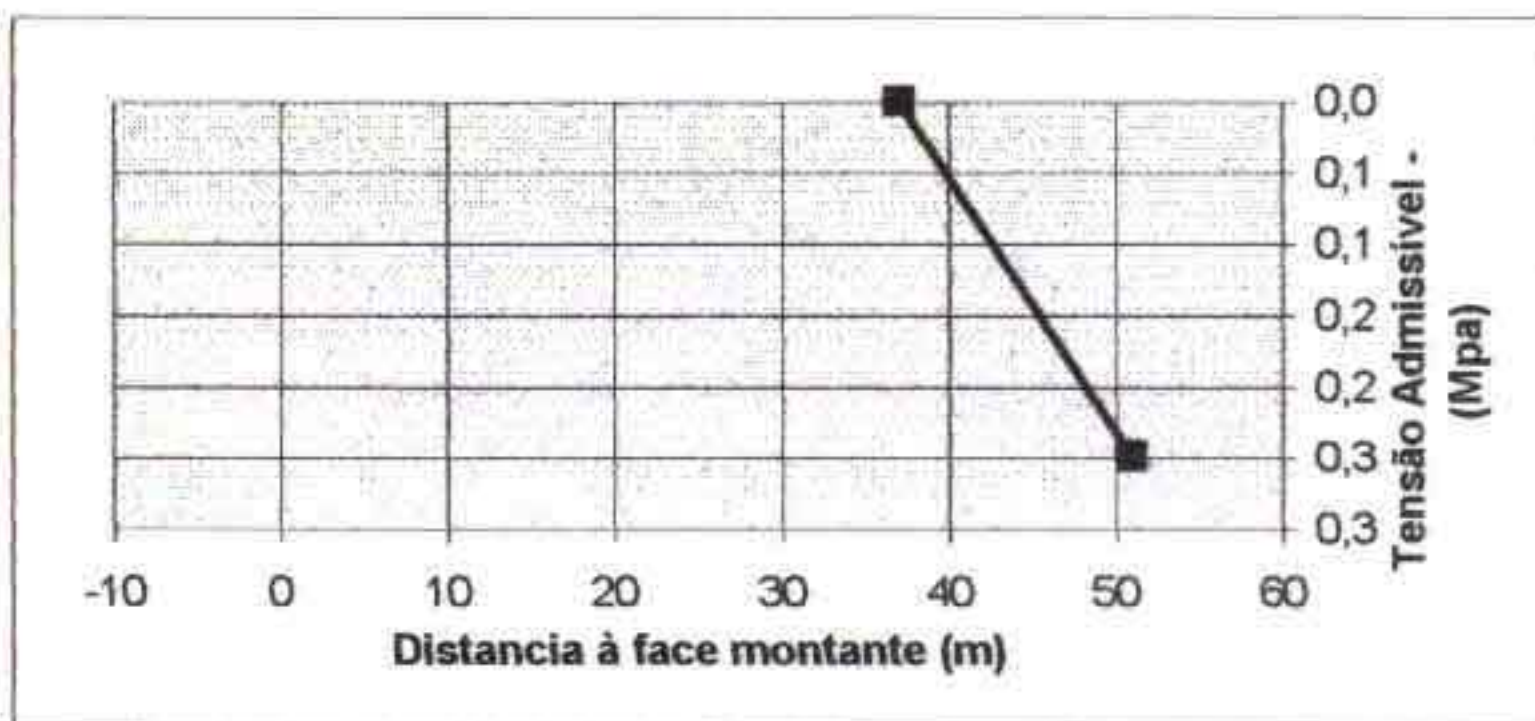
* Braço medido a partir da face montante, sentido montante positivo

Tombamento:

$e = 0,09$
 $6e/B = 0,04$

Tensões Admissíveis:

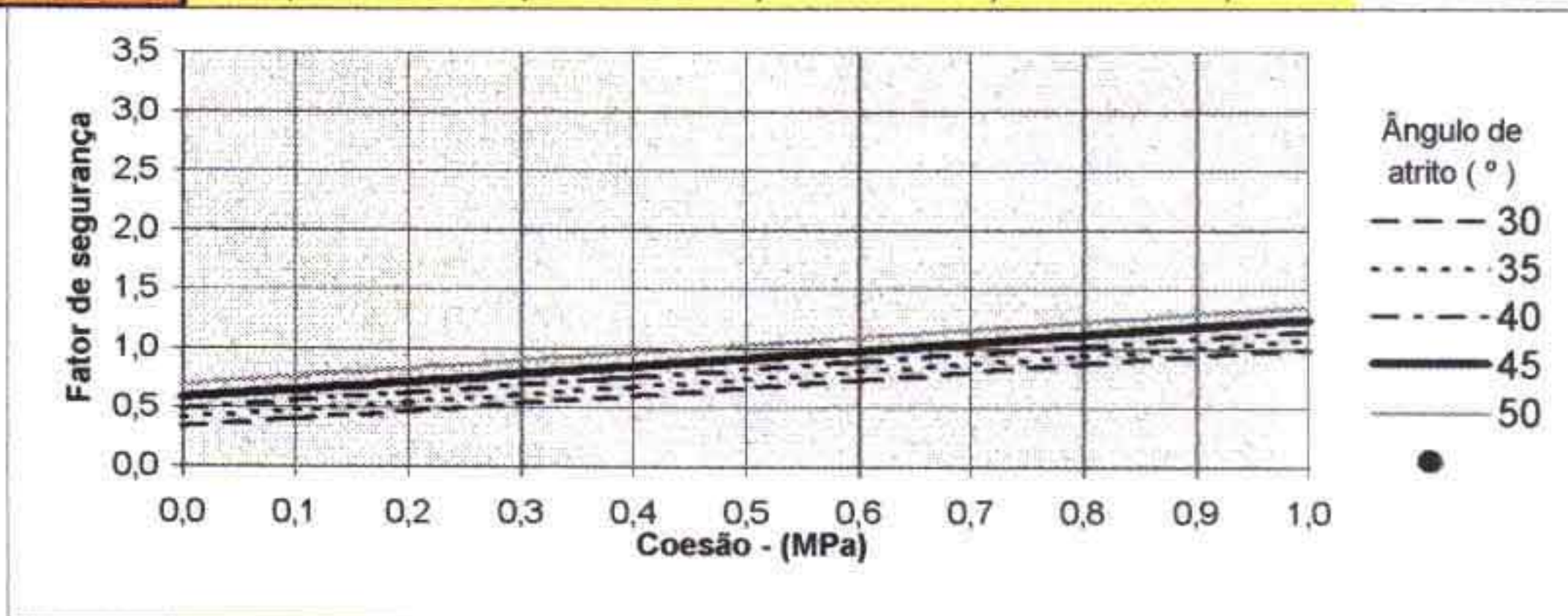
	Kg/m ²	Mpa
Montante	0,01	0,00
Jusante	24,89	0,25



Escorregamento:

FATOR DE SEGURANÇA

ângulo de atrito(°)		30	35	40	45	50
Coesão (Mpa) = 0,00		0,34	0,41	0,49	0,58	0,69
0,10		0,40	0,47	0,55	0,65	0,76
0,20		0,47	0,54	0,62	0,71	0,82
0,40		0,60	0,67	0,75	0,85	0,96
0,60		0,73	0,80	0,89	0,98	1,09
0,80		0,87	0,94	1,02	1,11	1,22
1,00		1,00	1,07	1,15	1,24	1,36



Flutuação:

Peso do maciço = 4151
 Sub-pressão = 3092

FS = 4151/3092
 FS = 1,342 > 1,30 OK

BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização das enchentes

Aceleração horizontal = 0,07 g

AÇÃO SÍSMICA - MÉTODO SIMPLIFICADO DE CHOPRA

Hs (m) =	68,00
E (kg/cm ²) =	200.000
Ts =	0,19
H (m) =	63,0
H/Hs =	0,93
R1 =	1,12 (Fig. 7)
T's =	0,21
C (fps) =	4720
R2 =	0,84
Alpha1 =	4,0
Kh (g) =	0,07

Cotas	Y	largura	ws(y)	Y/Hs	Fig 6 Psi(y)	Y/H	Fig. 8 gp1/wH	gp1	Fs(y)	Força	Force*Y
111,0	68,0	7,00	16,46	1,00	1,00				4,61		
104,2	61,2	7,00	16,46	0,90	0,74	0,00	0,00	0,00	3,41	27,27	1762
97,4	54,4	7,00	16,46	0,80	0,54	0,86	0,07	3,79	3,55	23,67	1368
90,6	47,6	15,30	35,99	0,70	0,39	0,76	0,14	7,57	6,05	32,64	1664
83,8	40,8	20,40	47,98	0,60	0,28	0,65	0,16	8,65	6,18	41,59	1838
77,0	34,0	25,50	59,98	0,50	0,20	0,54	0,17	9,19	5,93	41,20	1541
70,2	27,2	30,60	71,97	0,40	0,14	0,43	0,16	8,65	5,24	38,00	1163
63,4	20,4	35,70	83,97	0,30	0,09	0,32	0,15	8,11	4,39	32,75	779
56,6	13,6	40,80	95,96	0,20	0,05	0,22	0,15	8,11	3,61	27,21	463
49,8	6,8	45,90	107,96	0,10	0,02	0,11	0,15	8,11	2,88	22,07	225
43,0	0,0	51,00	119,95	0,00	0,00	0,00	0,15	8,11	2,27	17,50	59
										303,88	10863
										Y =	35,75

Carga	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Estática total	3060	2003	29,85	91325
Dinâmica				
Horiz.		304	35,75	10863
Vert	-194		16,77	-3252
	2866	2307	34,52	98935

Tombamento:

e = 9,02
6e/B = 1,06

Tensões Admissíveis:

	Kg/m ²	Mpa
Montante	-3,44	-0,03
Jusante	115,83	1,16

Deslocamento :

Fator de Segurança

Ângulo atrito	Fator de Segurança					(graus)
Coesão =	30	35	40	45	50	
0,00	0,72	0,87	1,04	1,24	1,48	
0,10	0,94	1,09	1,26	1,46	1,70	
0,20	1,16	1,31	1,48	1,68	1,92	
0,40	1,60	1,75	1,93	2,13	2,36	
0,60	2,04	2,20	2,37	2,57	2,81	
0,80	2,49	2,64	2,81	3,01	3,25	
1,00	2,93	3,08	3,25	3,45	3,69	

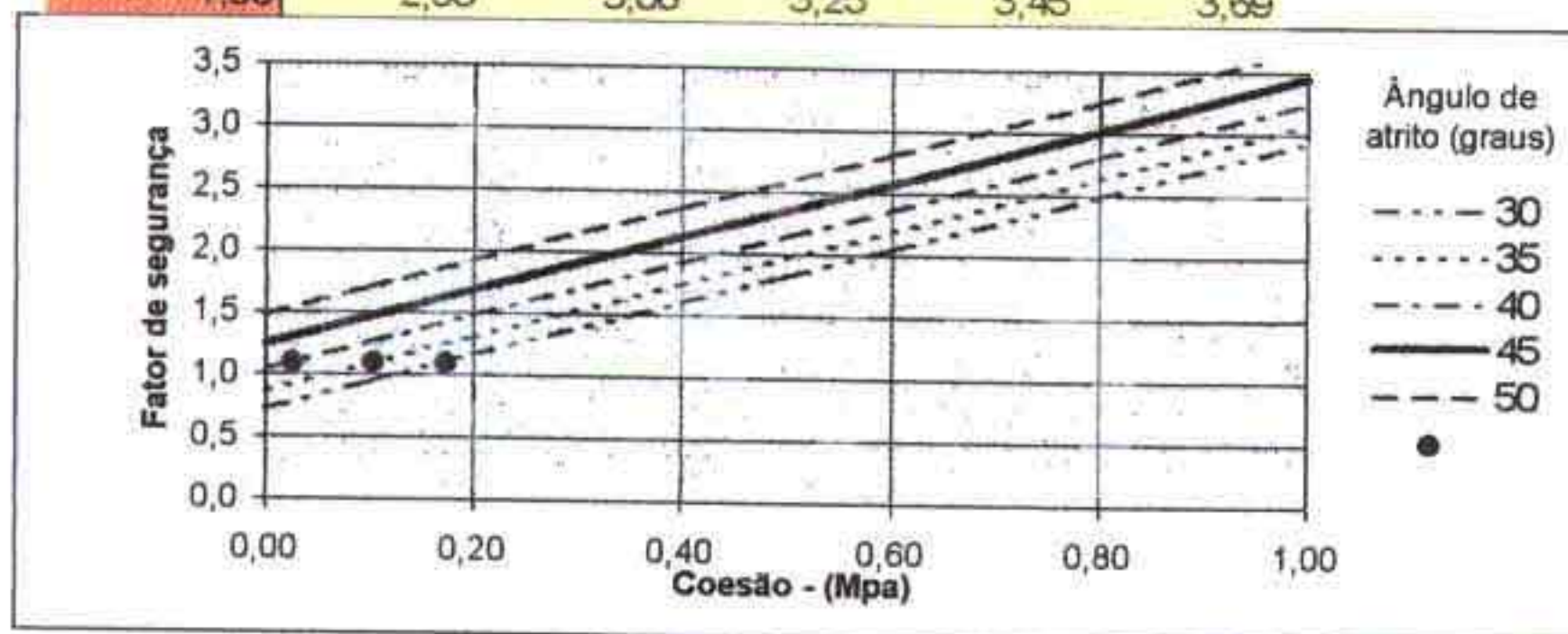
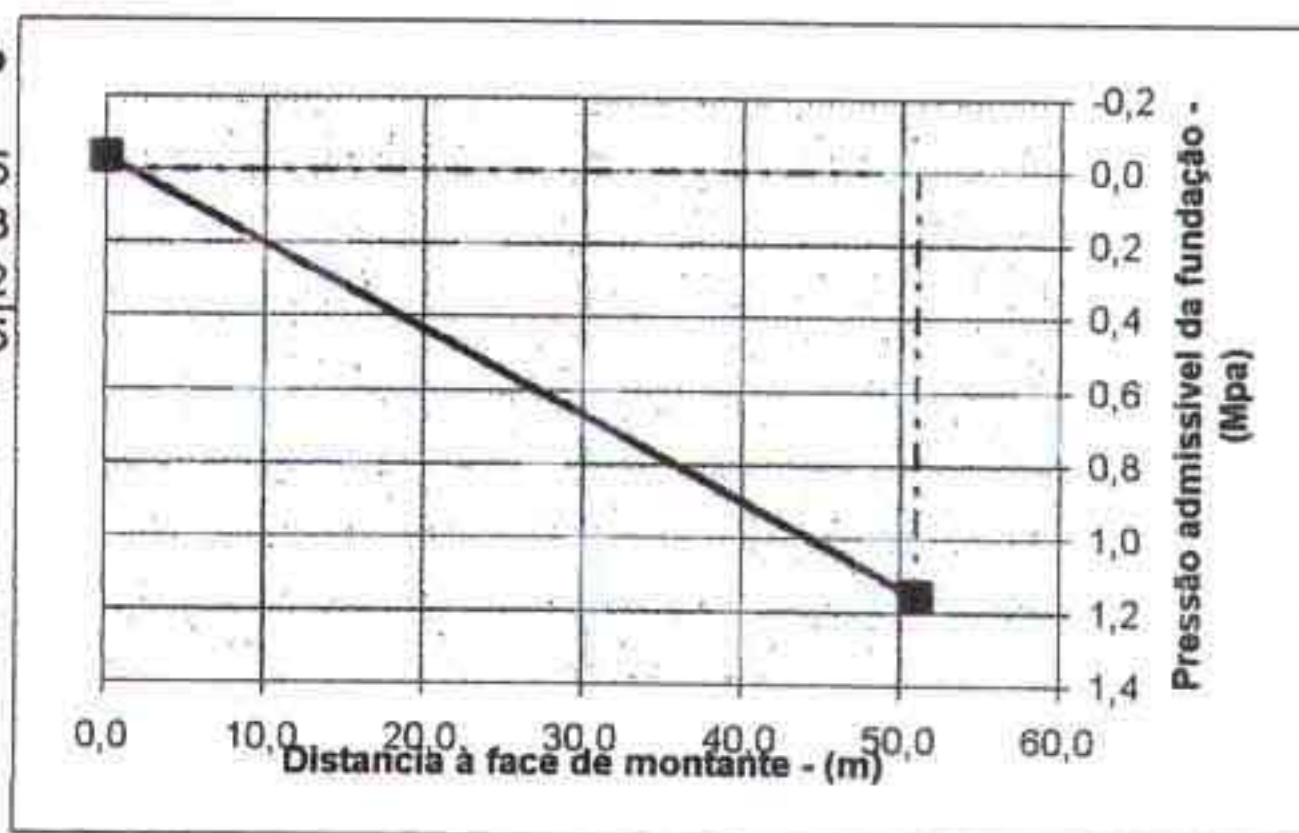
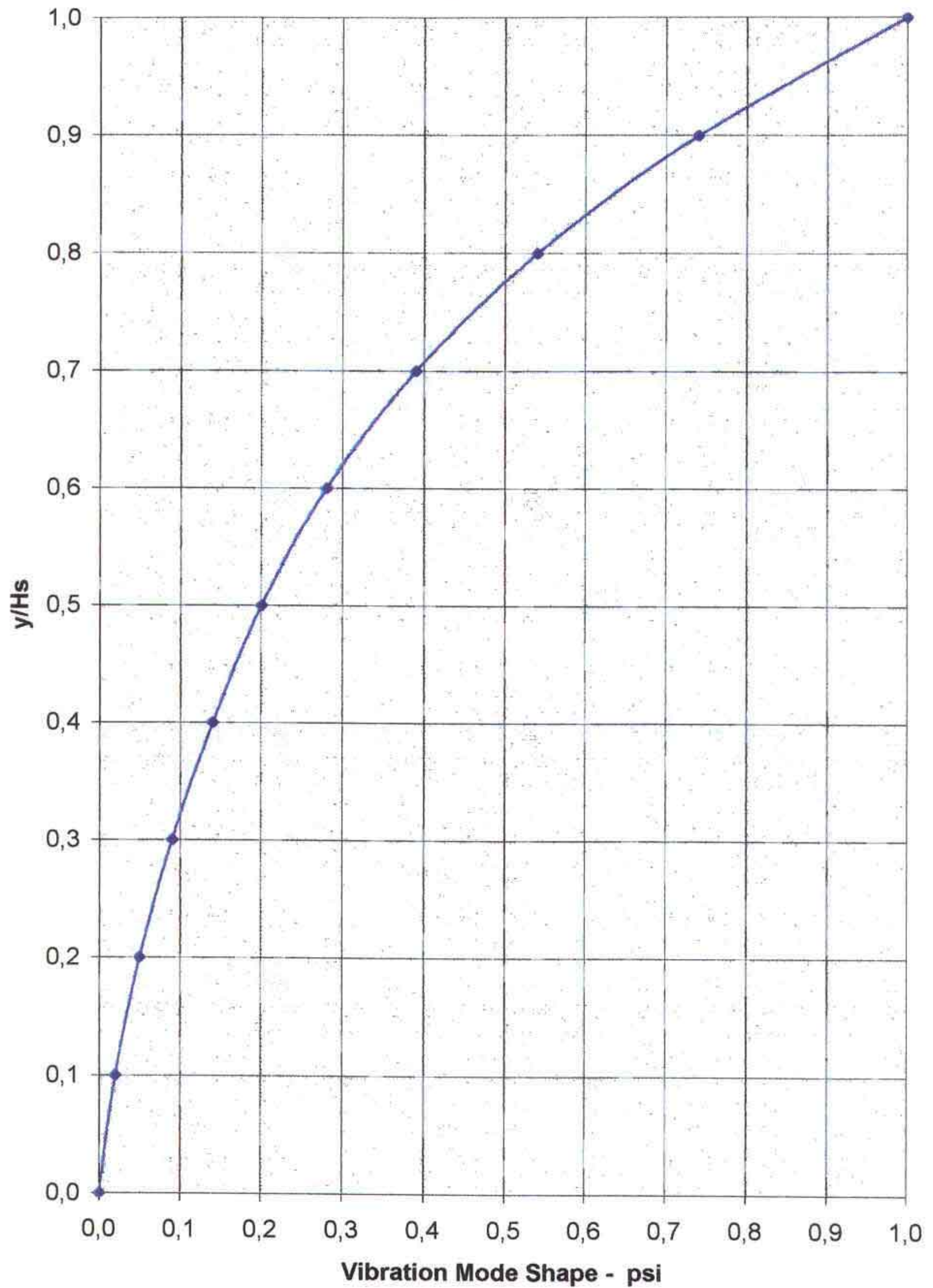


Figure 5



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização das enchentes

Aceleração horizontal = 0,07 g

AÇÃO SÍSMICA - MÉTODO SIMPLIFICADO DE CHOPRA

Hs (m) =	68,00
E (kg/cm ²) =	200.000
Ts =	0,19
H (m) =	63,0
H/Hs =	0,93
R1 =	1,12 (Fig. 7)
T's =	0,21
C (fps) =	4720
R2 =	0,84
Alpha1 =	4,0
Kh (g) =	0,07

Cotas	Y	largura	ws(y)	Y/Hs	Fig 6 Psi(y)	Y/H	Fig. 8 gp1/wH	gp1	Fs(y)	Força	Force*Y
111,0	68,0	7,00	16,46	1,00	1,00				4,61		
104,2	61,2	7,00	16,46	0,90	0,74	0,00	0,00	0,00	3,41	27,27	1762
97,4	54,4	7,00	16,46	0,80	0,54	0,86	0,07	3,79	3,55	23,67	1368
90,6	47,6	15,30	35,99	0,70	0,39	0,76	0,14	7,57	6,05	32,64	1664
83,8	40,8	20,40	47,98	0,60	0,28	0,65	0,16	8,65	6,18	41,59	1838
77,0	34,0	25,50	59,98	0,50	0,20	0,54	0,17	9,19	5,93	41,20	1541
70,2	27,2	30,60	71,97	0,40	0,14	0,43	0,16	8,65	5,24	38,00	1163
63,4	20,4	35,70	83,97	0,30	0,09	0,32	0,15	8,11	4,39	32,75	779
56,6	13,6	40,80	95,96	0,20	0,05	0,22	0,15	8,11	3,61	27,21	463
49,8	6,8	45,90	107,96	0,10	0,02	0,11	0,15	8,11	2,88	22,07	225
43,0	0,0	51,00	119,95	0,00	0,00	0,00	0,15	8,11	2,27	17,50	59
										303,88	10863
										Y =	35,75

Carga	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Estática total	3060	2003	29,85	91325
Dinâmica Horiz.		304	35,75	10863
Vert	-194		16,77	-3252
	2866	2307	34,52	98935

Tombamento:

e = 9,02
6e/B = 1,06

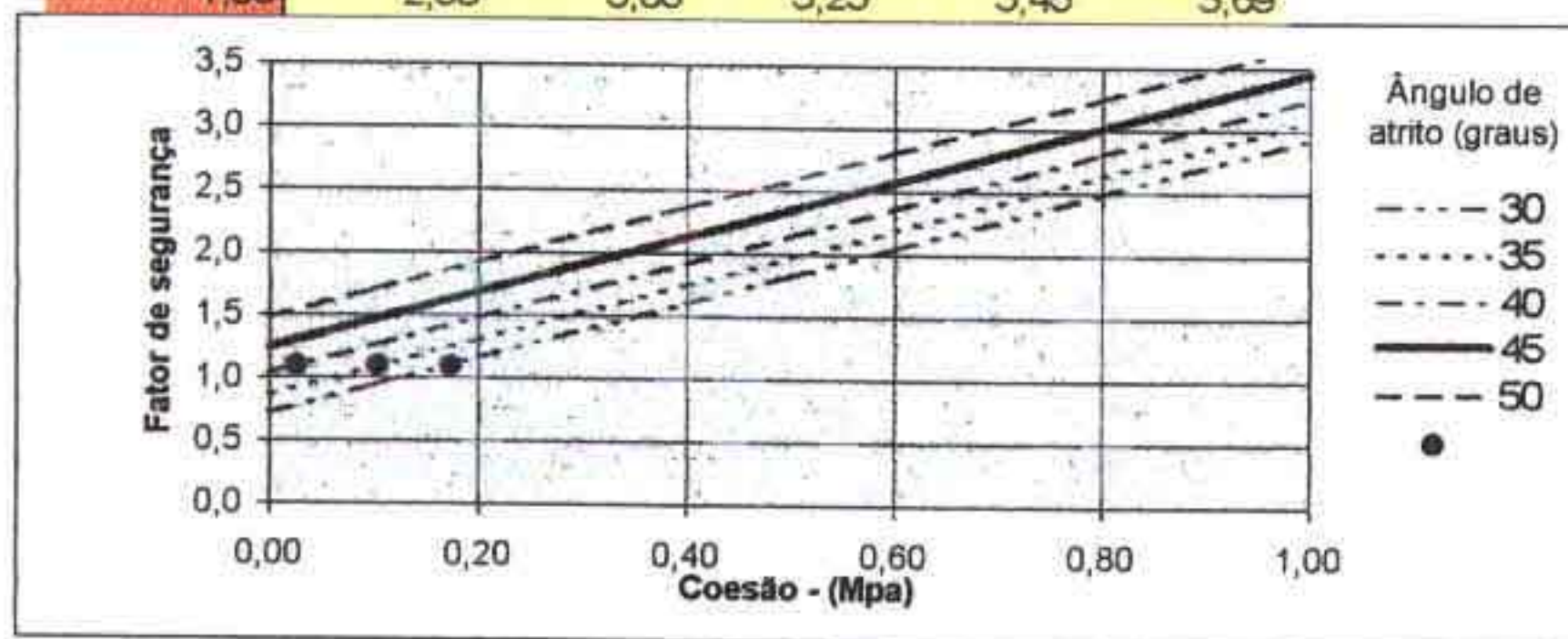
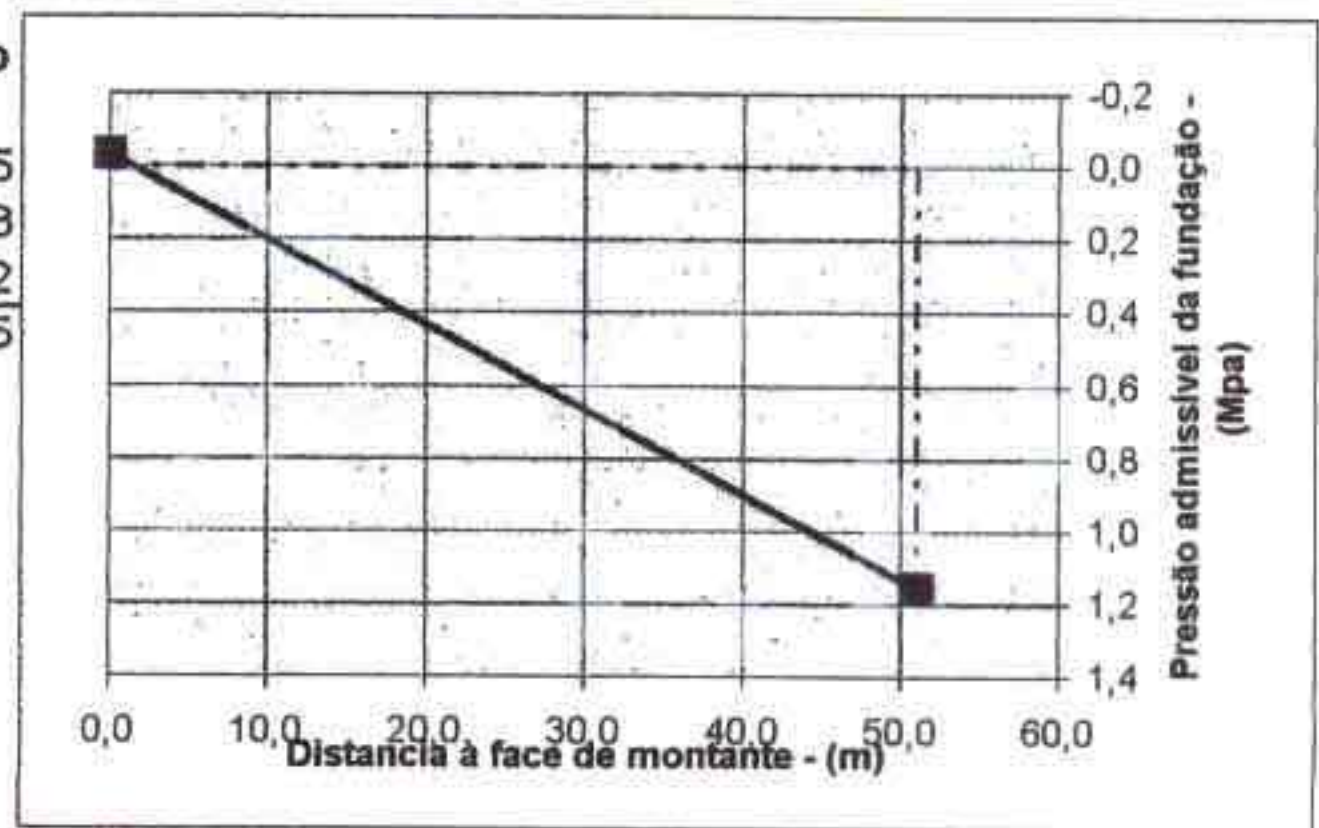
Tensões Admissíveis:

	Kg/m ²	Mpa
Montante	-3,44	-0,03
Jusante	115,83	1,16

Deslocamento:

Fator de Segurança

Ângulo atrito	30	35	40	45	50	(graus)
Coesão = 0,00	0,72	0,87	1,04	1,24	1,48	
0,10	0,94	1,09	1,26	1,46	1,70	
0,20	1,16	1,31	1,48	1,68	1,92	
0,40	1,60	1,75	1,93	2,13	2,36	
0,60	2,04	2,20	2,37	2,57	2,81	
0,80	2,49	2,64	2,81	3,01	3,25	
1,00	2,93	3,08	3,25	3,45	3,69	



BARRAGEM DO CASTANHÃO

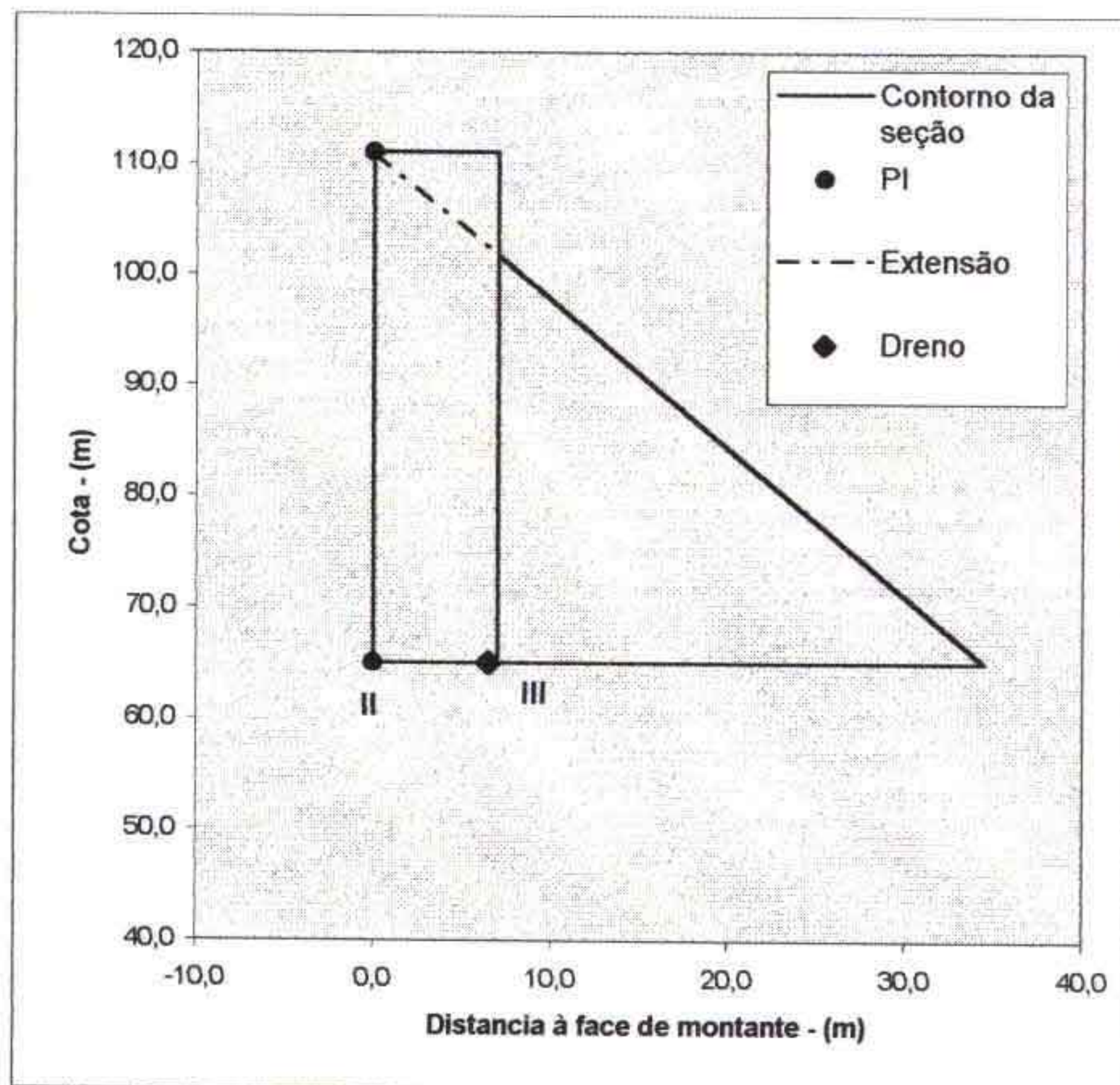
Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização de enchentes/ cota fundação =65,0

Geometria

	Montante	Jusante	Base W	
Cota da crista da barragem	111,0	111,0		Crack Base 0
Cota da fundação	65,0	65,0		(à montante do dreno)
Largura da crista	7,0			
Cotas dos P.I.	65,0	111,0		
Taludes	0,00	0,750		
Largura da base	0,00	34,5	34,5	

Localização do dreno	6,5
Eficiência do dreno	0,33

Seção	k	W	H	Area	X	Momento	Y	Momento
I	0,50	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,00	0
II	1,00	7,0	46,0	322,0	3,50	1127	23,00	7406
III	0,50	27,5	36,7	504,2	16,17	8151	12,22	6162
				826,2	11,23	9278	16,42	13568

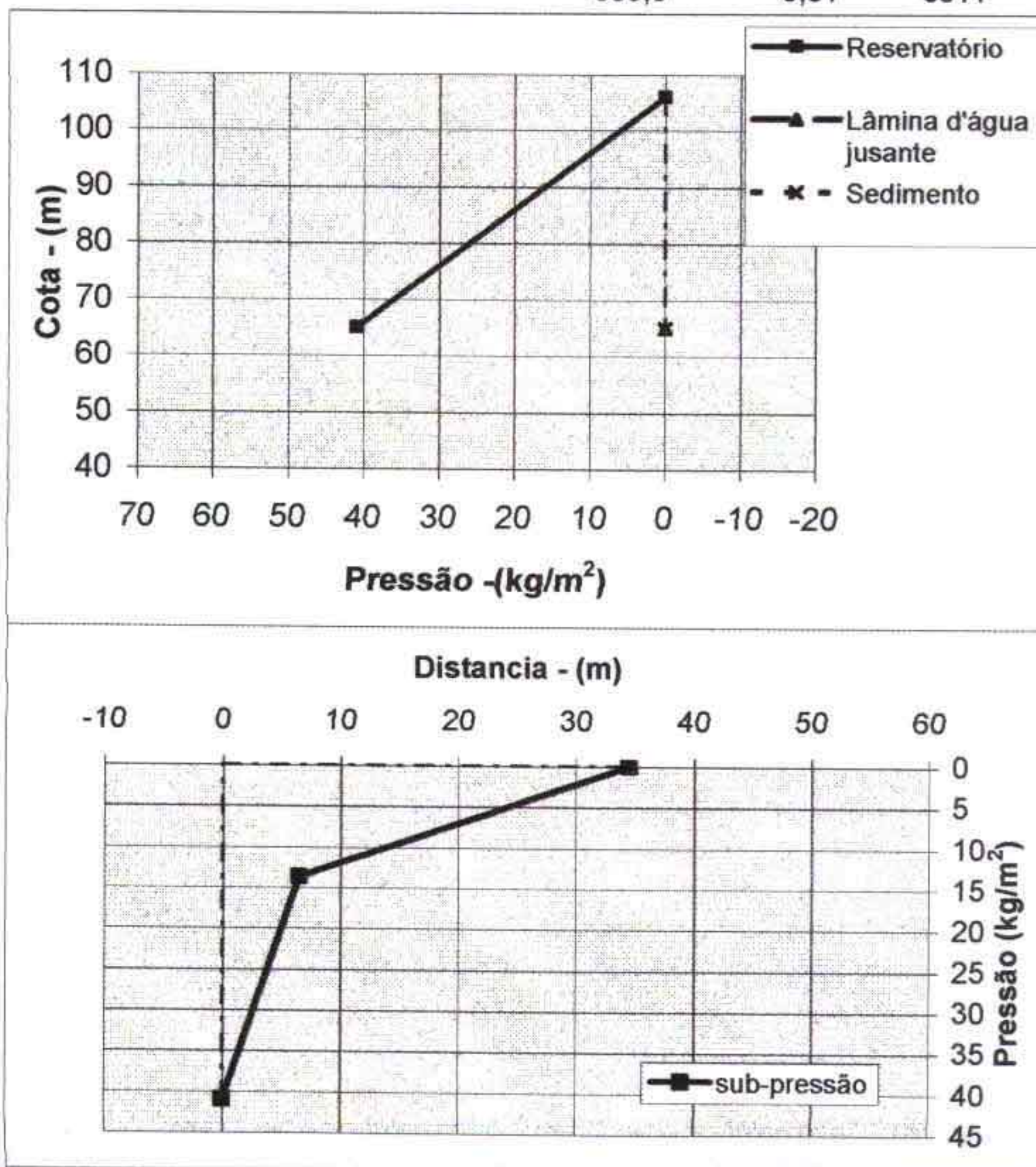


BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização de enchentes/ cota fundação = 65,0

	Cotas		Peso específico	
Cota da crista da barragem	106,0	65,0	Concreto	2,300
Cota da fundação	65,0		Sedimento	1,700
Cota do topo do sedimento	65,0		Sedimento submerso	0,7000
Lâmina d'água	41,0	0,0	Água	1,0000
Altura do sedimento	0,0			

	Pressão	Altura	Força	Braço	F * A	
Água no reservatório	41,00	41,0	840,5	13,67		
Sedimento	0,00	0,0	0,0	0,00		
Lâmina d'água a jusante	0,00	0,0	0,0	0,00		
	k	W	H	Peso	Braço	Momento
Talude de montante vertical	0,50	0,00	0,00	0,0	0,00	0
	1	0,00	41,0	0,0	0,00	0
				0,0	0,00	0
Sub-pressão	Pressão	Largura	Força	Braço	F * A	
U1	0,00	34,5	0,0	17,25	0	
U2	13,67	6,5	88,8	3,25	289	
U3	27,33	6,5	88,8	2,17	192	
U3a	27,33	0,0	0,0	0,00	0	
U4	13,67	28,0	191,3	15,83	3029	
			369,0	9,51	3511	



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Stress Conversion: 100

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização de enchentes/ cota fundação =65,0

Resumo das cargas resultantes

Carga	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Peso do maciço	1900		11,23	21339
Água no reservatório				
Horizontal		841	13,67	11487
Vertical	0		0,00	0
Lâmina d'água a jusante				
Horizontal		0	0,00	0
Vertical	0		34,50	0
Sedimento		0	0,00	0
Sub-pressão	-369		9,51	-3511
Totais	1531	841	19,15	29315

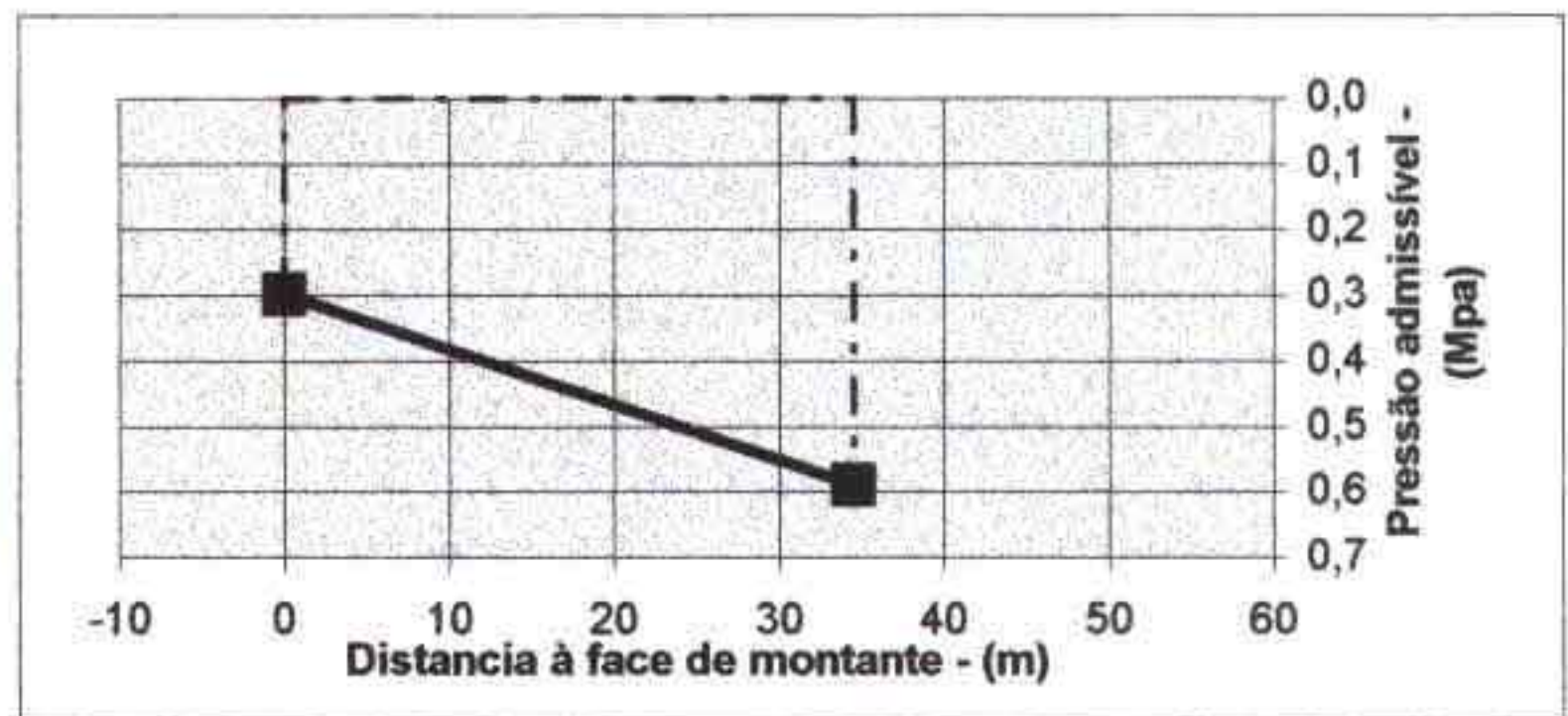
* Braço medido apartir da face de montante, positivo no sentido jusante

Tombamento

$e = 1,90$
 $6e/B = 0,33$

Tensões admissíveis

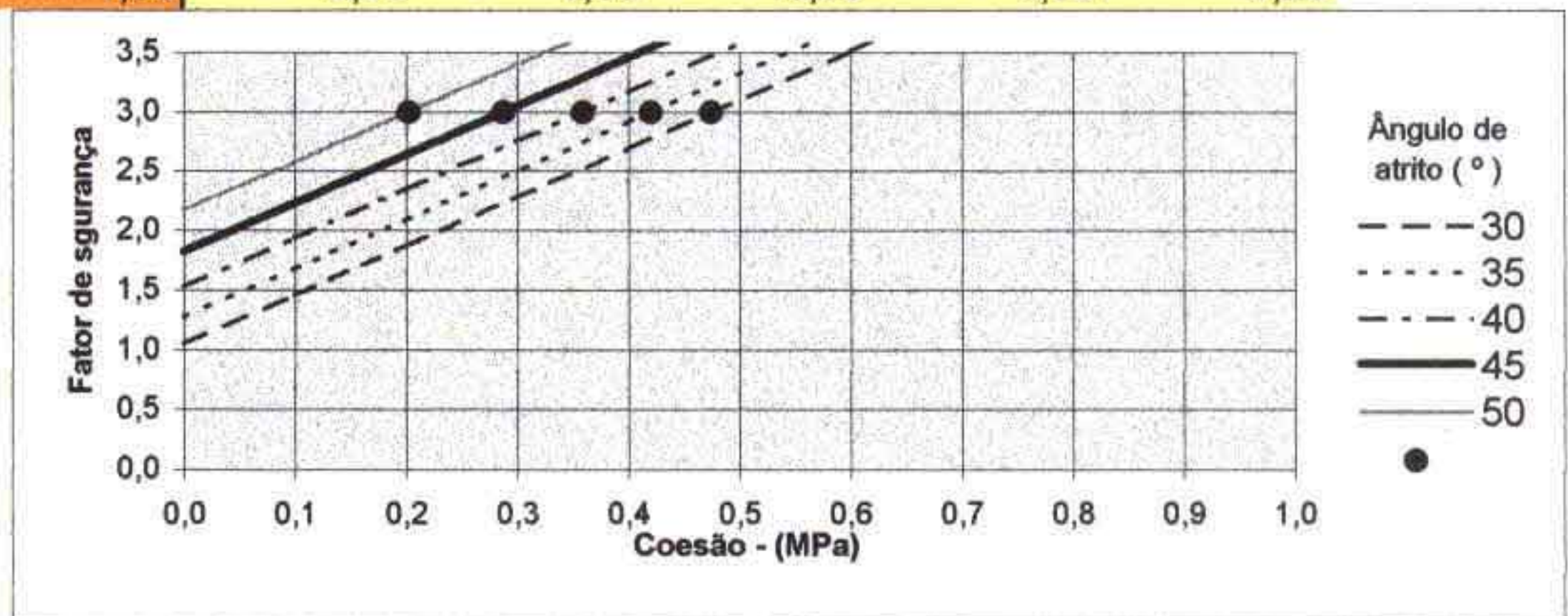
	Kg/m ²	Mpa
Montante	29,75	0,30
Jusante	59,01	0,59



Escorregamento

Fator de segurança

Ângulo de atrito =		30	35	40	45	50
Cosão =	0,00	1,05	1,28	1,53	1,82	2,17
Mpa	0,10	1,46	1,69	1,94	2,23	2,58
	0,20	1,87	2,10	2,35	2,64	2,99
	0,40	2,69	2,92	3,17	3,46	3,81
	0,60	3,51	3,74	3,99	4,28	4,63
	0,80	4,34	4,56	4,81	5,11	5,45
	1,00	5,16	5,38	5,63	5,93	6,28



BARRAGEM DO CASTANHÃO

Caso 1A, Reservatório no nível máximo de regularização de enchentes/ cota fundação =65,0

Aceleração horizontal = 0,07 g

AÇÃO SÍSMICA - MÉTODO SIMPLIFICADO DE CHOPRA

Hs (m) =	46,00
E (kg/cm ²) =	200.000
Ts =	0,13
H (m) =	41,0
H/Hs =	0,89
R1 =	1,12 (Fig. 7)
T's =	0,14
C (fps) =	4720
R2 =	0,81
Alpha1 =	4,0
Kh (g) =	0,07

Cotas	Y	largura	ws(y)	Y/Hs	Fig 6 Psi(y)	Y/H	Fig. 8 gp1/wH	gp1	Fs(y)	Força	Force*Y
111,0	46,0	7,00	16,10	1,00	1,00				4,51		
106,4	41,4	7,00	16,10	0,90	0,74	0,00	0,00	0,00	3,34	18,04	788
101,8	36,8	7,00	16,10	0,80	0,54	0,90	0,07	2,28	3,07	14,74	576
97,2	32,2	10,35	23,81	0,70	0,39	0,79	0,14	4,56	3,88	15,98	551
92,6	27,6	13,80	31,74	0,60	0,28	0,67	0,16	5,21	3,95	18,00	538
88,0	23,0	17,25	39,67	0,50	0,20	0,56	0,17	5,54	3,77	17,76	449
83,4	18,4	20,70	47,61	0,40	0,14	0,45	0,16	5,21	3,33	16,32	338
78,8	13,8	24,15	55,54	0,30	0,09	0,34	0,15	4,89	2,77	14,01	226
74,2	9,2	27,60	63,48	0,20	0,05	0,22	0,15	4,89	2,26	11,56	133
69,6	4,6	31,05	71,41	0,10	0,02	0,11	0,15	4,89	1,77	9,26	64
65,0	0,0	34,50	79,35	0,00	0,00	0,00	0,15	4,89	1,37	7,21	17
										142,88	3680
										Y =	25,76

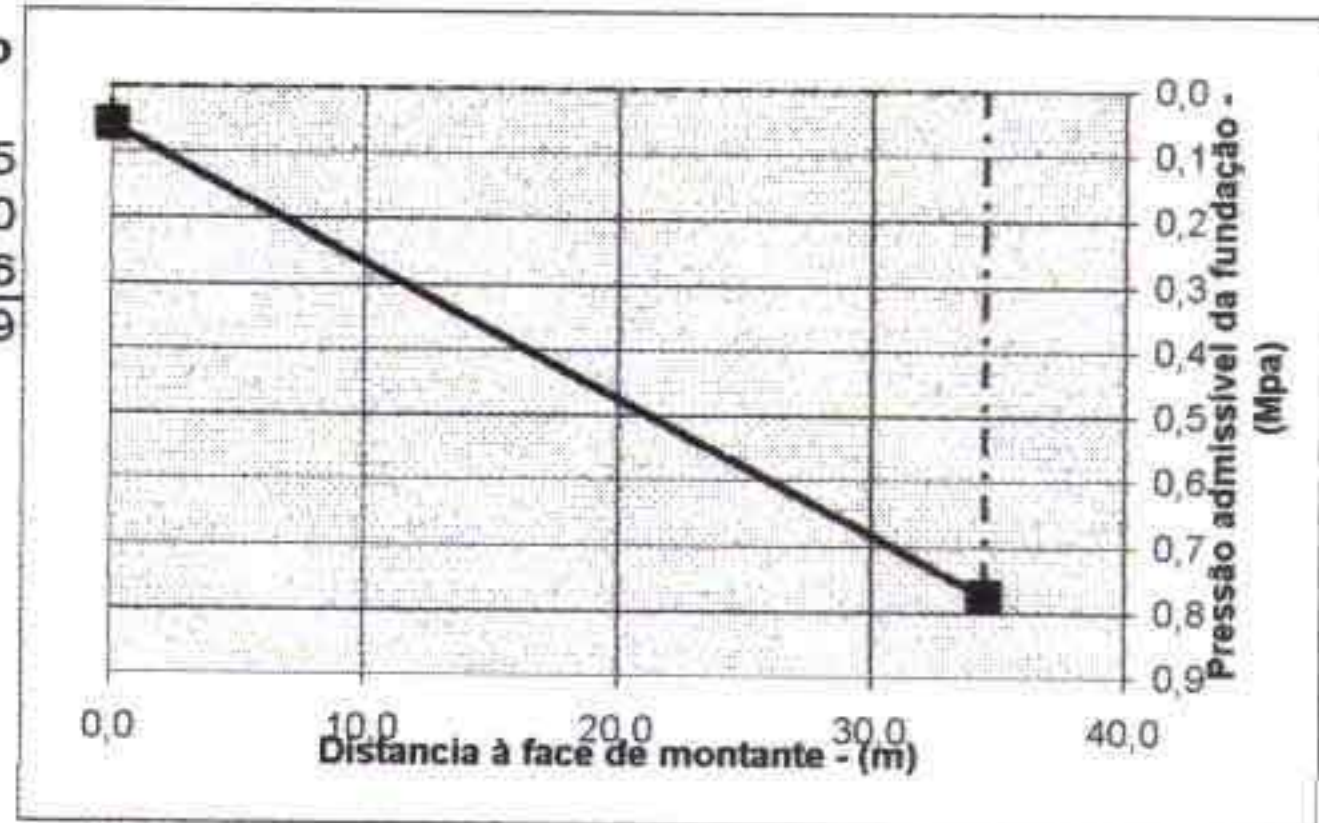
Carga	Vertical	Horizontal	Braço*	Momento
Estática total	1531	841	19,15	29315
Dinâmica				
Horiz.		143	25,76	3680
Vert	-89		11,23	-996
	1443	983	22,18	31999

Tombamento:

e =	4,93
6e/B =	0,86

Tensões Admissíveis:

	Kg/m ²	Mpa
Montante	5,94	0,06
Jusante	77,68	0,78



Deslocamento :

Fator de Segurança	Ângulo atrito (graus)				
	30	35	40	45	50
Coesão = 0,00	0,85	1,03	1,23	1,47	1,75
0,10	1,20	1,38	1,58	1,82	2,10
0,20	1,55	1,73	1,93	2,17	2,45
0,40	2,25	2,43	2,63	2,87	3,15
0,60	2,95	3,13	3,34	3,57	3,85
0,80	3,65	3,83	4,04	4,27	4,55
1,00	4,36	4,54	4,74	4,98	5,26

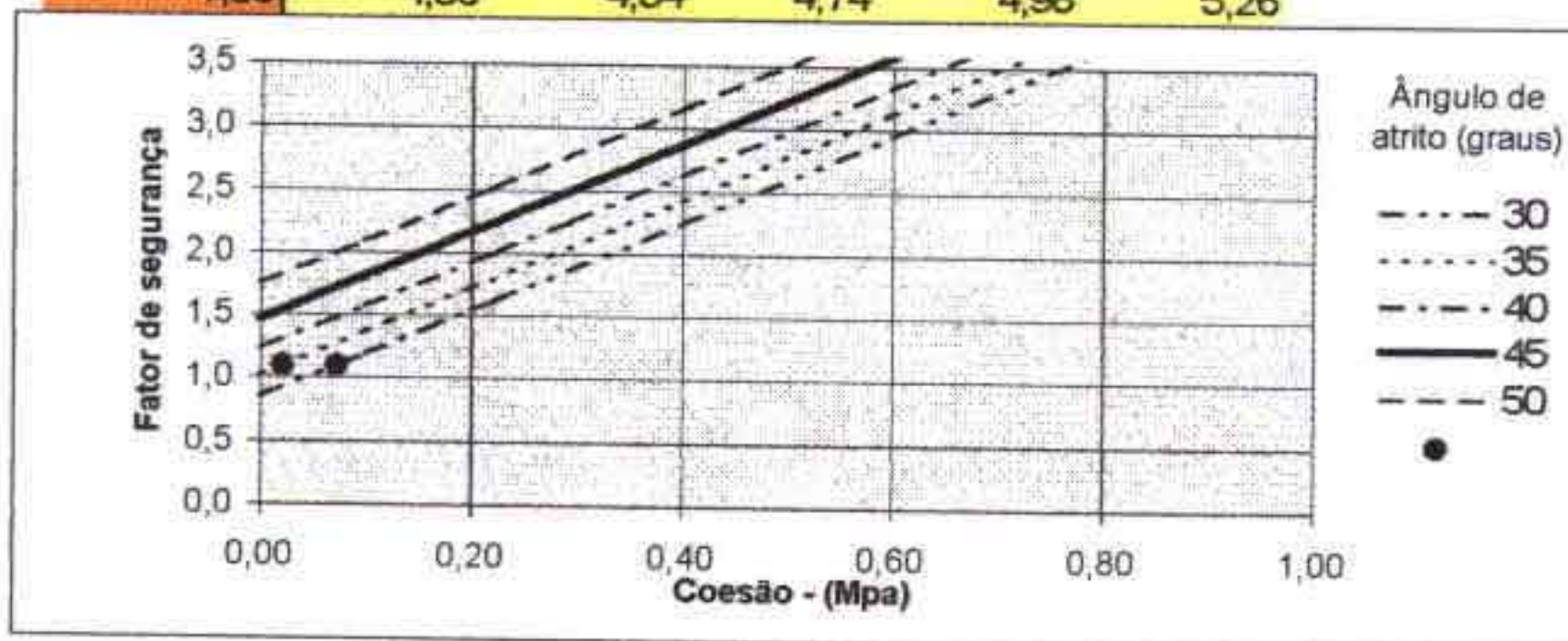
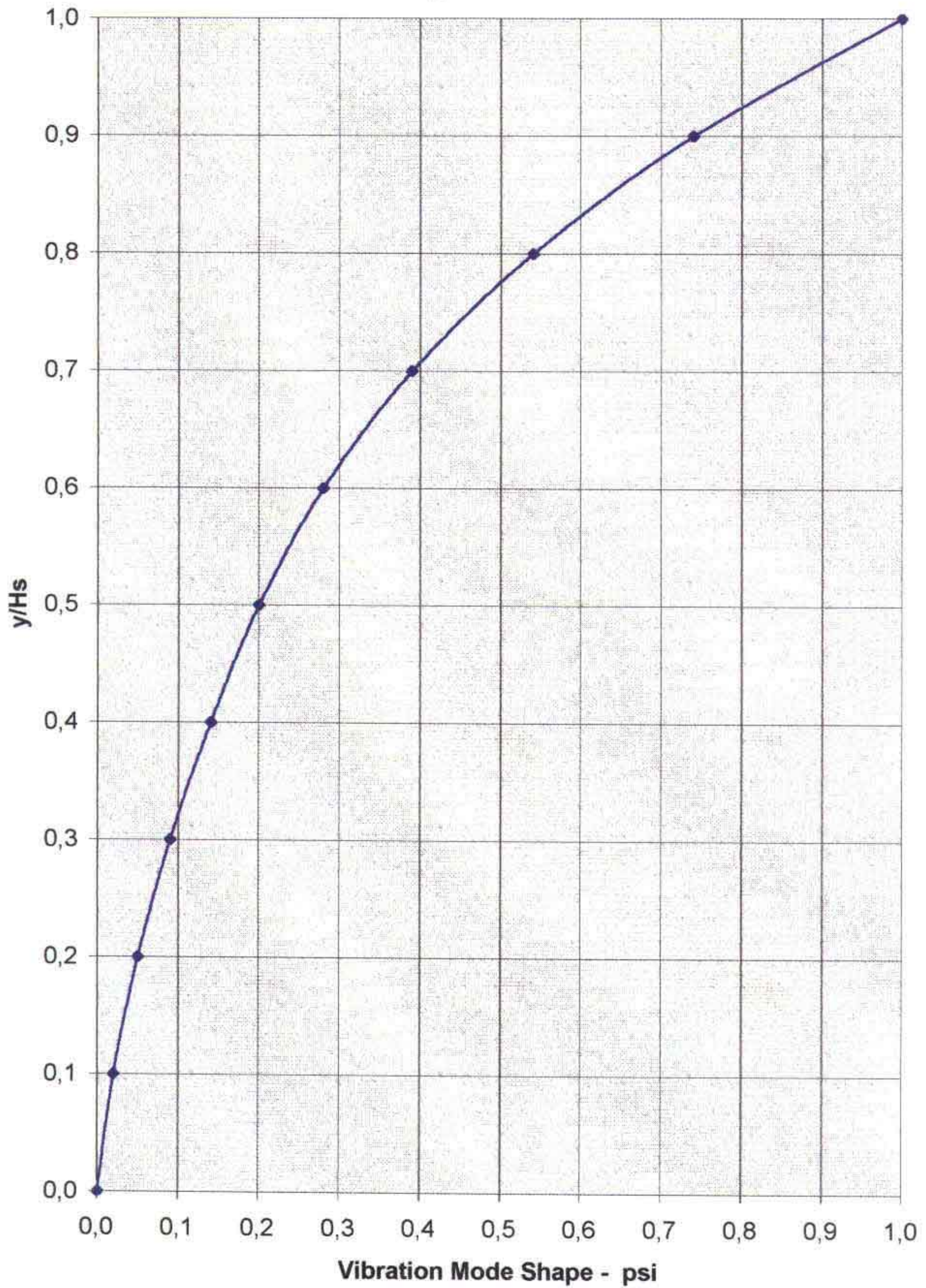
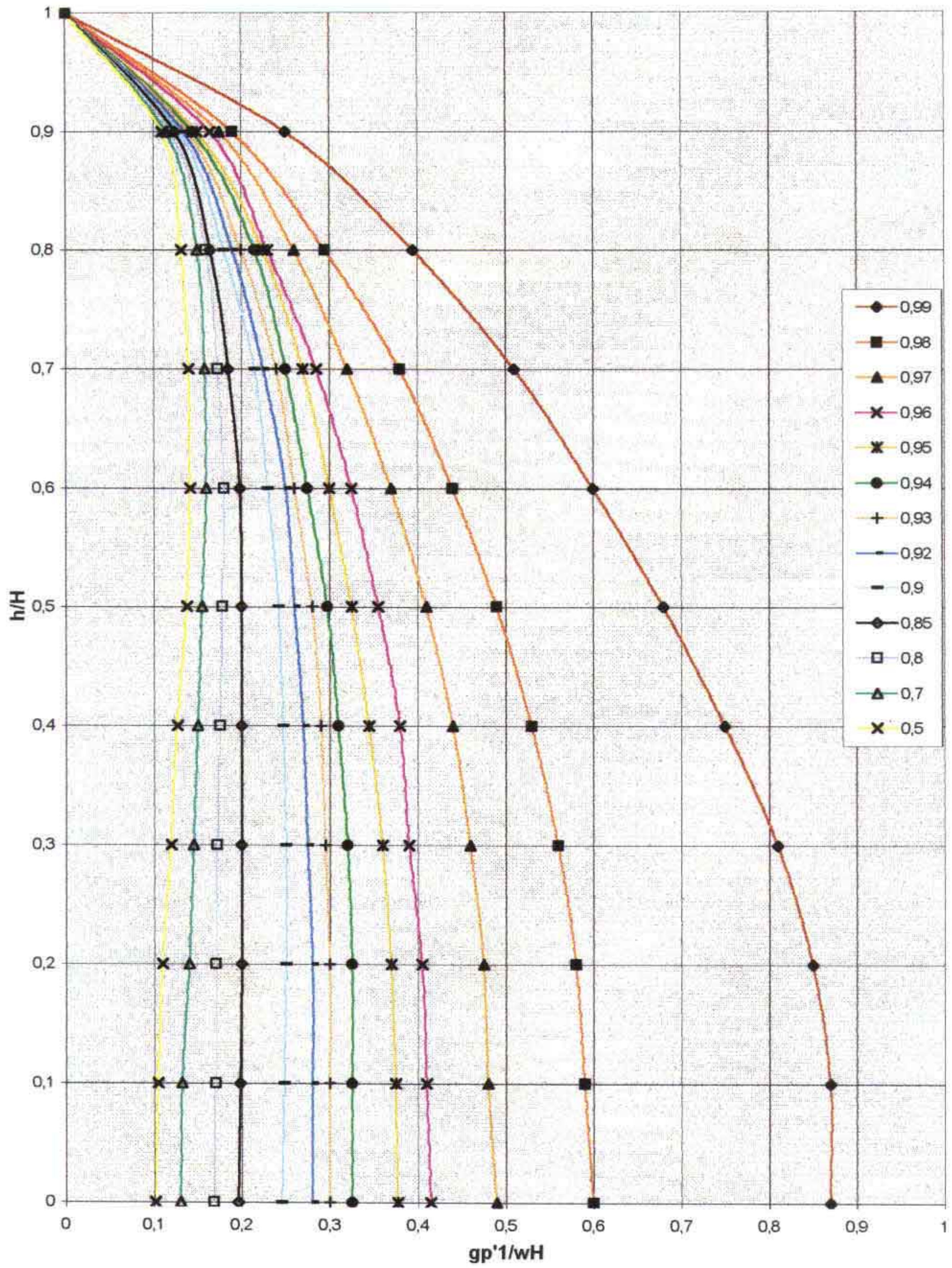


Figure 5





Estabilidade 1A, 3 -65,00/Fig 7

3. CÁLCULO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ENSECADEIRA

3. CALCULO HIDROLÓGICO E HIDRAULICO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ENSECADDEIRA DO CASTANHÃO

3.1. INTRODUÇÃO

O processo de construção de uma barragem do porte do Castanhão requer que se planeje, com muito cuidado, o processo construtivo, dividindo-o em fases e avaliando riscos envolvidos em obras provisórias. A decisão de como dividir a construção em fases e como projetar o desvio do rio depende das condições topográficas e geológicas do local da obra e ainda do regime hidrológico do rio. Via de regra, a construção de uma ensecadeira torna-se indispensável.

O Projeto proposto pela ENGESOFT prevê a construção de um endicamento encravado na ombreira direita e outro na ombreira esquerda, proporcionando a passagem das águas do rio Jaguaribe em uma seção estrangulada na zona central do leito do rio, por sobre uma seção vertedoura da barragem de CCR.

A determinação da cota superior do dique e da largura da seção vertedoura devem contemplar três aspectos básicos:

- 1) O aspecto hidrológico com vistas a definir as cheias do projeto e os riscos de transbordamento do dique,
- 2) O aspecto hidráulico com vistas a definir a seção de escoamento da cheia de projeto e a proteção do material do dique contra as altas velocidades da água ocasionadas pelo estrangulamento da seção,
- 3) O aspecto ambiental com vistas a propiciar avaliações preliminares de conseqüências de uma possível ruptura do dique.

O presente relatório procura analisar os três aspectos citados para juntamente com ao aspectos econômicos e construtivos, a serem desenvolvidos, propiciar elementos para uma correta tomada de decisão.

O relatório é composto três partes: primeiramente apresentam-se os estudos hidrológicos; em seguida analisam-se alternativas da seção de escoamento para diferentes vazões e seções transversais; finalmente apresentam-se considerações sobre os aspectos ambientais.

3.2. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Os elementos hidrológicos necessários aos estudos consiste em determinar cheias de projeto para diferentes períodos de retorno. Duas condições são apresentadas:

- a) as cheias do Projeto do DNOS para períodos de retorno de 10, 20, 25 e 50 anos,
- b) em um segundo instante apresentam-se as cheias reduzidas por um coeficiente para levar em consideração que o açude Orós, ao início de 2000, deverá estar com um armazenamento bem abaixo de sua capacidade

As Cheias Do Projeto

O estudo hidrológico do Castanhão, desenvolvido pelo DNOS, analisou os picos de cheia do rio Jaguaribe para 10, 20, 25, 50, 100 e 1.000 anos. Os valores das vazões de pico desses hidrogramas estão apresentados na Tabela 1. Deve-se observar que essas vazões foram avaliadas sob a premissa do reservatório do Orós encontrar-se cheio no início do escoamento do hidrograma. Para efeito do presente estudo somente interessam as cheias referentes a períodos de retorno de 50 anos ou inferiores.

Tabela 1 – Vazões máximas escoadas no Rio Jaguaribe em Castanhão para vários períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Vazão máxima (m ³ /s)
10	2.941
20	3.928
25	4.228
50	5.356

FONTE: DNOS - Estudos hidrológicos de Açude Castanhão

Redução do pico de cheia pelo Orós

O açude Orós encontra-se atualmente com 29,4% de sua capacidade, ou seja, um volume acumulado de **470,4** hm³. Considerando-se que as liberações do açude devem continuar até o final do ano, a expectativa é que ao início do ano 2000 o volume estocado esteja em cerca de 400 hm³ equivalendo a cerca de 21% da capacidade do reservatório.

Considerando-se que o Orós tem uma capacidade de 1950 hm³, o mesmo chegará ao início do próximo ano com capacidade de absorver 1 550 hm³ de escoamento no Jaguaribe antes de começar a sangrar

Representando-se o escoamento anual em Orós por uma função densidade gama com parâmetros μ (deflúvio médio) igual a 821,88 hm³/ano e coeficiente de variação CV = 1,24, pode-se estimar que há uma probabilidade de 83,4 % do Orós não sangrar no próximo ano

Nesse caso, a área de formação de cheias no Castanhão passaria de 44.850 km² para 20312 km² com a exclusão do 24.538 km² da bacia controlada pelo Orós. ²

Como primeira estimativa, poder-se-ia estimar a redução de vazão proporcional a área de escoamento e à lâmina. Assim o fator de redução seria

$$fr = \frac{44\ 850 - 24\ 538}{44\ 850} = \frac{20\ 312}{44\ 850} = 0,43$$

Encontrou-se, dessa maneira, as seguintes vazões de pico reduzidas (Tabela 2)

Tabela 2 - Vazões máximas e vazões reduzidas no rio Jaguaribe em Castanhão para vários períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Vazão máxima (m ³ /s)	Vazão reduzida (m ³ /s)
10	2.941	1.323
20	3.928	1.768
25	4.228	1.903
50	5.356	2.410

Dessa forma, pode-se fazer a seguinte leitura dos valores da Tabela 2:

- 1) As vazões reduzidas referem-se às probabilidades respectivas desde que o Orós não esteja sangrando.

² Um estudo probabilístico mais refinado levaria a valores inferiores das vazões máximas, todavia o tempo disponível não permite esse aprofundamento metodológico

2) As vazões máximas referem-se ao cenário após o enchimento total do Orós

3.3. Os ESTUDOS HIDRÁULICOS DA SEÇÃO ESTRANGULADA

Pelos estudos das possibilidades de produção e lançamento de CCR, com os equipamentos disponíveis chegou-se a conclusão que a largura máxima da seção vertedoura que poderá ser construída é de 200 metros

Para essa largura foram realizadas simulações do escoamento na seção estrangulada do rio Jaguaribe na fase de construção para o primeiro semestre do ano de 2000.

Para isto utilizou-se a expressão de vertedouro retangular de parede delgada e sem contração, que é

$$Q = K.L.H^3$$

onde: K = -1,5

L = largura da soleira (200 m)

H = altura acima da cota da soleira (m)

Na tabela 7.3 a seguir são apresentados os resultados obtidos para a situação do Açude Orós sangrando e para nenhuma construção deste nessa simulação foi considerada a soleira na cota 57,00.

Tabela 7.3 – Simulação do escoamento da seção estrangulada do rio Jaguaribe, com 200 m de largura, na estação chuvosa de 2000.

Vazão (m³/s)	T. Retorno (anos)	Vel. Média (m/s)	Lâmina (m)	Nível d'água (m)
Orós sem Sangria				
1323	10	2,46	2,69	59,69
1768	20	2,71	3,26	60,26
1903	25	2,77	3,43	60,43
2410	50	3,00	4,01	61,01
Orós com Sangria				
2941	10	3,21	4,58	61,58
3928	20	3,51	5,55	62,55
4228	25	3,62	5,83	62,83
5356	50	3,92	6,83	63,83

3.4. OS ASPECTOS AMBIENTAIS:

No aspecto ambiental pode-se questionar qual será o impacto da ensecadeira nos meios físicos e antrópicos das margens do rio Jaguaribe

Deve ser considerado que o dimensionamento está se fazendo dentro de uma vazão de escoamento de baixo período de retorno. O remanso ocasionado pelo estrangulamento, elevando o nível das águas para as cotas mostradas nas tabela 7 a 3 é insignificante quando comparado com as cotas da águas após a conclusão da barragem. Nesses aspecto o cuidado a tomar é fazer com que as áreas ribeirinhas, até a cota da crista da ensecadeira, sejam desocupadas antes do início da quadra invernos.

Um segundo problema seria uma possível formação de uma onda de cheia com o rompimento da ensecadeira. Essa onda se propagaria para jusante e teria um efeito surpresa junto as populações ribeirinhas. Nessa situação, como medida cautelar, poder-se-ia estimar as áreas a serem atingidas e antecipar qualquer deslocamento da população. Um monitoramento da ensecadeira e das vazões e condições de pluviosidade seriam medidas necessárias e, se corretamente aplicada, também eficazes

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES:

Os estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos neste relatório tiveram por base a cartografia disponível na escala 1.25000. Algumas estudos de sensibilidade mostraram que esta escala seria suficientemente precisa para o desenvolvimento do projeto.

A decisão a ser tomada envolve um processo de trocas (trade-off) da seguinte maneira quanto maior o período de retorno adotado, maior será a segurança na execução da barragem, maiores serão os custos com a ensecadeira, e maiores serão os riscos ambientais com a formação súbita de uma onda de cheia (flash flood).

Em concordância com a Fiscalização da SRH foi adotado para o cálculo das cotas das ensecadeiras um tempo de recorrência de 50 anos, sem a contribuição do açude do Orós

4. DIMENSIONAMENTO DA GALERIA DE DESCARGA

4. DIMENSIONAMENTO DA GALERIA DE DESCARGA

Com a finalidade de propiciar uma vazão a jusante da barragem do Castanhão, após a estação chuvosa de 2000 de forma a atender a atual demanda suprida pelo DNOCS, estudou-se duas alternativas que, basicamente, são

- a) Descarga pela galeria da tomada d'água, já executada e com previsão de funcionamento dos equipamentos hidromecânicos no final de abril/2000. Essa galeria constitui-se de duas linhas de tubos, com diâmetro de 3,70 m e com cota de fundo na 57,00 Poderá ser utilizada apenas uma linha de duto ou ambas
- b) Descarga por uma galeria de descarga de fundo, a ser construída na seção da barragem de CCR, na cota 52,50 m.

Em seguida calculou-se para diversas vazões as cotas que alcançariam as lâminas para efeito de concepção do esquema de desvio, com cotas necessárias de ensecamento e as dimensões das galerias para suprir essas vazões.

4.1. ESCOAMENTO PELA GALERIA DA TOMADA D'ÁGUA

Para diversas vazões regularizadas calculou-se as cargas hidráulicas necessárias e conseqüentemente a cota do nível d'água alcançado no reservatório, utilizando-se a seguinte expressões de tubos curtos:

$$Q = cd A \sqrt{2gH}$$

onde:
Q = vazão em m³/s
A = área de escoamento, em m²
g = 9,8 m/s²
H = carga inicial disponível, em um
Cd - coeficiente de descarga

Nas tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os resultados para o caso de um e dois dutos em funcionamento.

Tabela 4.1 – Escoamento pela galeria da tomada d'água com um duto de ϕ 3,70 m

Área do Duto (m ²)	Cd	Vazão (m ³ /s)	Carga Hidráulica (m)	Cota da Lâmina (m)
10,75	0,60	15,00	0,28	60,98
10,75	0,60	16,00	0,31	61,01
10,75	0,60	17,00	0,35	61,05
10,75	0,60	18,00	0,40	61,10
10,75	0,60	19,00	0,44	61,14
10,75	0,60	20,00	0,49	61,19
10,75	0,60	50,00	3,06	63,76

Tabela 4.2 – Escoamento pela galeria da tomada d'água com dois dutos de ϕ 3,70 m

Área do Duto (m ²)	Cd	Vazão (m ³ /s)	Carga Hidráulica (m)	Cota da Lâmina (m)
21,50	0,60	15,00	0,07	60,77
21,50	0,60	16,00	0,08	60,78
21,50	0,60	17,00	0,09	60,79
21,50	0,60	18,00	0,10	60,80
21,50	0,60	19,00	0,11	60,81
21,50	0,60	20,00	0,12	60,82
21,50	0,60	50,00	0,77	61,47

4.2. ESCOAMENTO PELA GALERIA DA DESCARGA DE FUNDO

para a Alternativa b, Escoamento Pela Descarga de fundo, Calculou-se as Cargas Hidráulicas Para as Mesmas Vazões Consideradas Anteriormente, que são apresentadas na Tabela 4 3

Tabela 4.2 – Escoamento pela galeria de descarga de fundo, na cota 52,50

Seção	Área (m ²)	Cd	Vazão (m ³ /s)	Carga Hidráulica (m)	Cota da Lâmina (m)
2,0 x 2,0	4,0	0,57	10,10	0,0	52,50
2,0 x 2,0	4,0	0,57	18,97	1,5	54,00
2,0 x 2,0	4,0	0,57	18,89	2,5	55,00
2,2 x 2,2	4,84	0,57	19,82	0	52,50
2,2 x 2,2	4,84	0,57	19,70	1,5	54,00
2,2 x 2,2	4,84	0,57	26,17	2,5	55,00
2,50 x 2,50	6,25	0,57	17,64	0	52,50
2,50 x 2,50	6,25	0,57	26,17	1,5	54,00
2,50 x 2,50	6,25	0,57	30,66	2,5	55,00

Uma verificação da situação sem carga hidráulica ($H = 0$ m) foi realizada admitindo a galeria funcionando como um canal, baseando-se na condição de que a altura representativa da energia específica do fluxo crítico é igual a altura da galeria ($E_c = H$). Desta condição resultam as expressões:

$$h_c = 2/3 h$$

$$Q_c = 1,705 \cdot B \cdot H^{1,5}$$

$$V_c = 2,56 \sqrt{H}$$

$$I_c = 2,6 \frac{n^2}{H^{1,49}} \left(3 + \frac{4H}{B} \right)^{1,49}$$

h_c = tirante (altura da lâmina d'água) crítico (m)

H - altura do bueiro (m)

Q_c = vazão crítica (m^3/s)

B = largura do bueiro (m)

V_c - velocidade crítica (m/s)

I_c = declividade crítica (m/m)

N = coeficiente de rugosidade

Aplicando-se as expressões anteriores obteve-se

Seção	Vazão (m^3/s)	Velocidade Crítica (m/s)
2,00 x 2,00	9,64	3,62
2,50 x 2,50	15,85	4,05

4.3 CONCLUSÕES

Admitindo-se que as galerias deveriam regularizar no mínimo $15 m^3/s$, vazão atualmente regularizada pelo Açude Orós, observa-se que:

- Para utilização da galeria da tomada d'água existente o nível d'água no reservatório atingiria as cotas 60,98 e 60,77, para um duto ou dois respectivamente. Isto implica na construção da barragem de CCR no mínimo até a cota 60,77 e as ensecadeiras na cota aproximadamente 65,50

- b) Com a galeria de descarga de fundo em seção 2,50 x 2,50 m, o nível d'água no reservatório chegaria a cota 55,00 o que acarretaria na construção da barragem de CCR, no mínimo, até a cota 55,00 e as ensecadeiras na 60,00.
- c) Desse confronto conclui-se que a galeria de fundo repercute numa grande economia de ensecadeiras e que necessita de volumes de CCR bem inferiores as previsões de produção da obra. Por isto parece muito mais interessante a adoção de uma galeria de fundo, com a barragem de CCR vertente na cota 57,00, que atente a vazão e encontra-se dentro da produção esperada de CCR.