

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**1^{as}. CONFERENCIAS PORTUGUESAS SOBRE
BARRAGENS DE BETÃO COMPACTADO
COM CILINDROS (BCC)**

Lisboa - Portugal - Novembro de 1996

**Membrana de PVC - Estudos, Ensaios e
Utilização como Elemento de
Impermeabilização em Barragem de Betão
Compactado com Cilindro**

**Francisco Rodrigues Andriolo
Engenheiro Consultor**

Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda
Rua Cristalândia no. 181 - São Paulo - Brasil - CEP- 05465-000 - Tel-++55 11- 260 5613 - Fx-++55 11- 260 7069

RESUMO

O trabalho apresenta dados de ensaios de laboratório sobre geomembranas de P.V.C., com a intenção de emprego na impermeabilização de barragens de concreto. São citados exemplos de uso desse tipo de material em barragens de concreto já executadas . É debatido uma aplicação alternativa em barragens de solo-aglomerante.

É feita uma comparação de custos sobre essa opção alternativa, em comparação com soluções tradicionais.

1- INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das indústrias química e petroquímica tem colocado à disposição da construção civil um crescente número de produtos e materiais sintéticos. Vários informes [1 a 5] publicados no XVI International Congress on Large Dams- San Francisco -1988, bem como relatórios [6 a 9], publicados em revistas técnicas e seminários, dão conta do emergente emprego de mantas- geomembranas- plásticas como elemento de impermeabilização para a construção civil. Dentre essas publicações ressaltam-se os estudos e aplicações [10] efetuados pela Construtora Norberto Odebrecht S/A, Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional e a Sansuy S/A Indústria de Plásticos, para a aplicação de geomembrana de PVC, como elemento adicional de impermeabilização na barragem de Capanda, em Angola, construída em Concreto Compactado com Rolo, cujas características são vistas nas Figuras 1 e 2.

2- CONCEITUAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O programa de pesquisas, para Capanda foi desenvolvido com intuito de :

- Estabelecer acervo técnico para balizamento dos requisitos de especificação técnica, de modo a assegurar as premissas de Projeto;

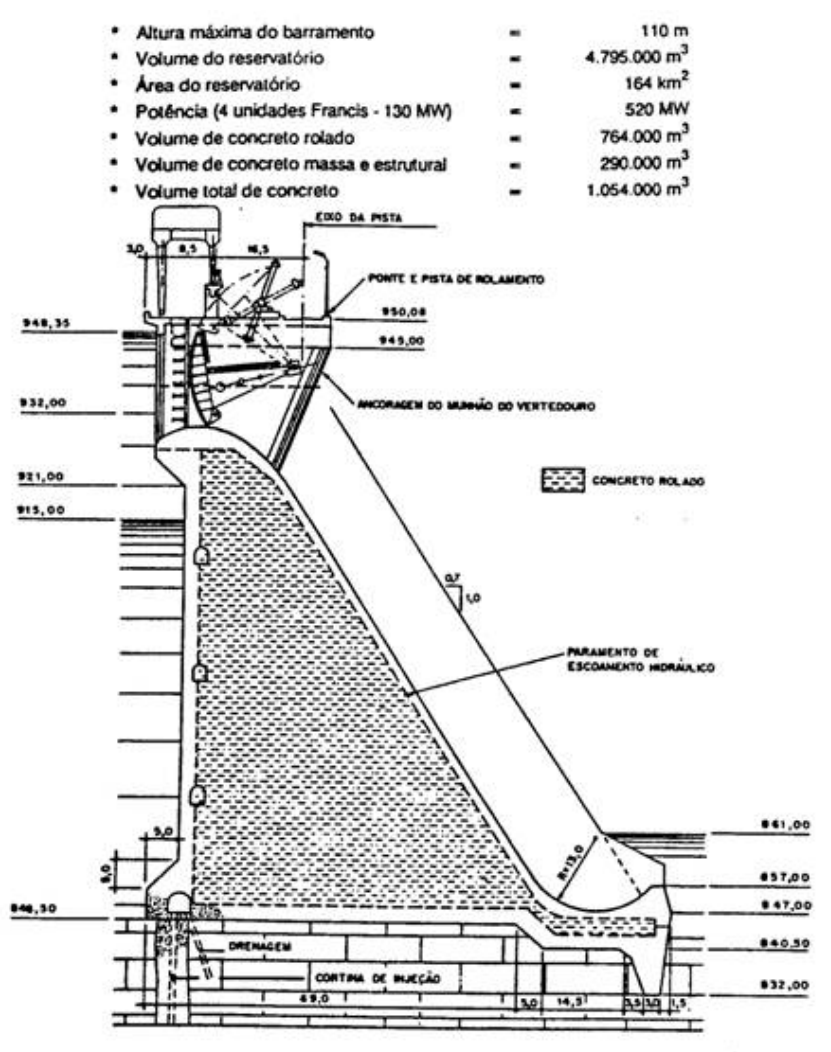


FIGURA 1- SEÇÃO DO BARRAMENTO NA REGIÃO DO VERTEDEIRO

- Desenvolver os ensaios para qualificar a geomembrana e controlar as remessas de material à obra

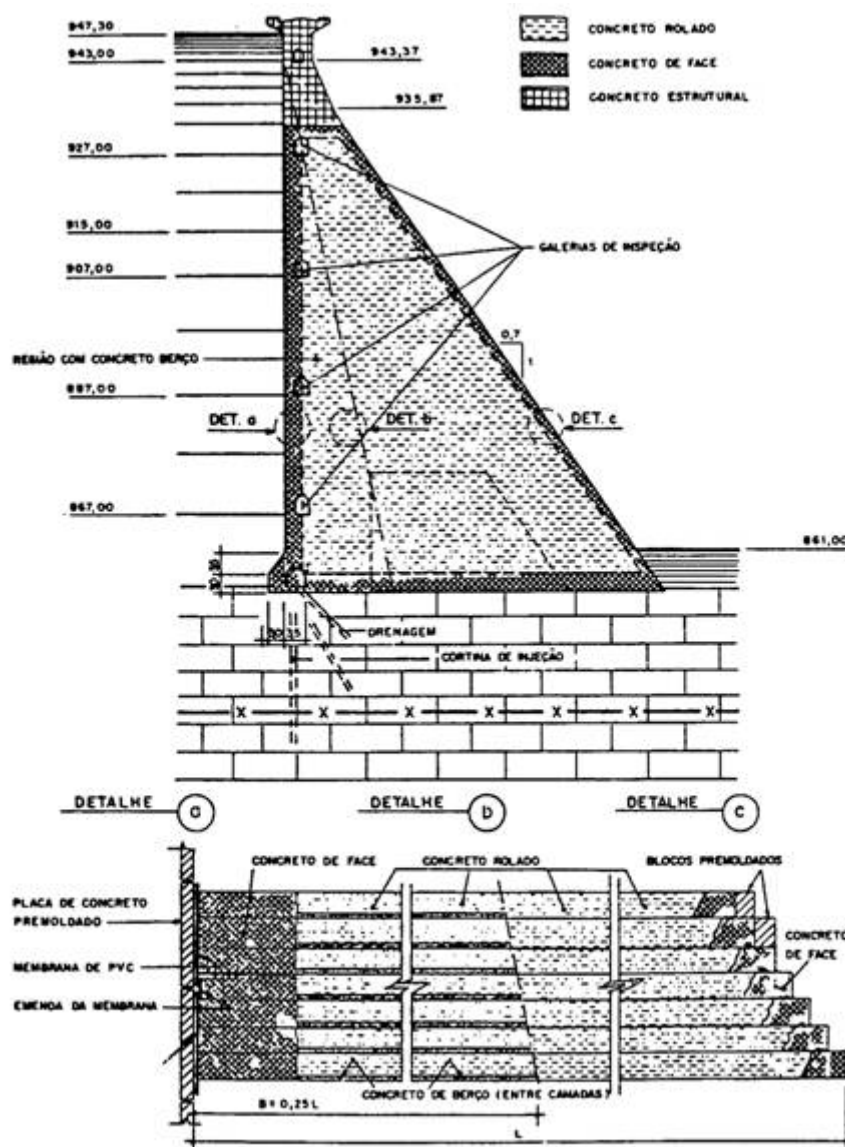


FIGURA 2- SEÇÃO TRANSVERSAL DO BARRAMENTO NA REGIÃO FORA DO VERTEDOIRO

- Desenvolver rotinas e técnicas para a execução de emendas das mantas de PVC, e;
- Desenvolver elementos embutidos para o posicionamento e fixação das mantas.

O material sintético objetivado foi o PVC (Cloreto de Polivinila) com base nas seguintes razões, entre outras:

- O PVC é largamente utilizado na construção civil;
- Os veda-juntas utilizados nas obras atuais, com altura da coluna hidráulica superior a 200m, são de PVC e mostram bom desempenho ao longo de sua vida útil;
- Algumas obras executadas em Concreto Compactado a Rolo como :
 - Winchester -E.U.A. - altura= 21m,
 - Urugua-i -Argentina - altura= 77m,
 - Concepción -Honduras -altura =68m, adotaram geomembrana de PVC, como barreira impermeável , e;
- O PVC é um termoplástico de fácil manuseio e emenda.

Com base nessas premissas e nas pesquisas desenvolvidas [11 a 15], cujos ensaios se descrevem à frente, se adotou o conjunto de requisitos especificados na Figura 3. Para suportar com maior folga e segurança os agentes de envelhecimento foi estipulada uma espessura de 2mm +/- 0,15mm.

PROPRIEDADE	UNIDADE	VALORES ESPECIFICADOS		VALORES OBTIDOS	
		GEOMEMBRANA	EMENDA	GEOMEMBRANA	EMENDA
MASSA ESPECÍFICA	g/cm ³	1,25 +/- 0,06		1,24 A 1,25	
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	Kgf/mm DE LARGURA	MIN = 2,14		4,00 A 5,82	
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	Kgf/cm ²	MIN = 120	MIN = 120	166 A 259	145 A 250
ALONGAMENTO À RUPTURA	%	MIN = 300		290 A 380	
RESISTÊNCIA AO RASGAMENTO	Kg	MIN = 6,4		13 A 21	
ESTABILIDADE DIMENSIONAL	%	MAX = +/- 5		(- 2,8) A (+ 1,0)	
PERDA DE VOLÁTEIS	%	MAX = 0,5		0,13 A 0,20	
RESISTÊNCIA À PRESSÃO HIDROSTÁTICA	Kgf/cm ²	15 A 20		16 A 18	
DUREZA	Shore A	90 +/- 10		88 A 91	
EFEITO DOS ALCALIS (7 DIAS)	AUMENTO DE PESO	%	MAX = 0,25	0,10 A 0,11	
	DIMINUIÇÃO DE PESO	%	MAX = 0,10	-	
	VARIAÇÃO DE DUREZA	PONTOS	MAX = +/- 5	(-1)	
EXTRAÇÃO ACELERADA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	Kgf/cm ²	MIN = 120	224 A 238	
	ALONGAMENTO À RUPTURA	%	MIN = 200	270 A 350	

FIGURA 3- REQUISITOS ESPECIFICADOS, E OBTIDOS, PARA O MATERIAL DA GEOMEMBRANA E DAS EMENDAS, PARA A OBRA DE CAPANDA.

3- ENSAIOS E RESULTADOS

3.1- Amostras

Para o desenvolvimento dos estudos foram estabelecidas 3 amostras (designadas por SD) , enviadas de maneira iterativa à medida de obtenção dos dados de ensaios e os respectivos ajustes no material. A partir da quarta remessa as amostras já fizeram referência à partidas em fornecimento (designadas por SC). Alguns ensaios foram executados com amostras comparativas da Barragem de Urugua-i (designadas por SU).

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	RECEBIMENTO	OBJETIVO
1 a REMESSA	SD	ABRIL -- 89	DESENVOLVIMENTO
2 a REMESSA	SD	JUNHO -- 89	DESENVOLVIMENTO
3 a REMESSA	SD	JULHO -- 89	DESENVOLVIMENTO
4 a REMESSA	SC	JULHO -- 89	DESENVOLVIMENTO
5 a REMESSA	SC	NOVEMBRO -- 89	DESENVOLVIMENTO
6 a REMESSA	SC	MARÇO -- 90	DESENVOLVIMENTO

FIGURA 4- IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

3.2- Massa Específica

A massa específica foi determinada de acordo com o método ASTM-D-792. A massa específica e a densidade são assim definidos:

- Massa específica- é a relação entre o peso ao ar de uma unidade de volume da porção impermeável do material , a 23 °C, e o peso no ar de igual densidade do mesmo volume de água destilada livre de gás, à mesma temperatura;
- Densidade- é o peso, ao ar, da porção impermeável do material a 23 °C, em g/cm³.

Os resultados são vistos à Figura 5.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	MASSA ESPECÍFICA	DENSIDADE (g/cm ³)
1 a. REMESSA	SD	1,28	1,277
2 a. REMESSA	SD	1,25	1,247
3 a. REMESSA	SD	1,24	1,237
4 a. REMESSA	SC	1,24	1,237
5 a. REMESSA	SC	1,25	1,247
6 a. REMESSA	SC	1,25	1,247
URUGUA-I	SU	1,38	1,376

FIGURA 5- VALORES DE MASSA ESPECÍFICA E DENSIDADE

3.3- Perda dos Voláteis

A determinação da perda dos voláteis foi executada conforme os procedimentos do método ASTM-D-1203, sendo que os resultados podem ser vistos na Figura 6

IDENTIFICAÇÃO	PERDA DOS VOLÁTEIS (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
SD	0,32	3,10
SD	0,16	7,10
SD	0,17	10,20
SC	0,13	14,00
SC	0,20	2,90
SU	0,37	-

FIGURA 6- VALORES DE PERDA DOS VOLÁTEIS

3.4- Absorção de Água

O ensaio para determinação de absorção de água foi realizado conforme procedimentos baseados no método CRD-C-575 do Corps of Engineers, sendo que os resultados são vistos na Figura 7.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 a. REMESSA	SD	0,39	1,50
2 a. REMESSA	SD	0,41	0,00
3 a. REMESSA	SD	0,41	2,40
4 a. REMESSA	SC	0,32	1,80
6 a. REMESSA	SC	0,31	0,00
URUGUA-I	SU	0,50	2,000

FIGURA 7- VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

3.5- Efeito Álcis

Essa determinação foi feita com base no item 2 do método CRD-C-572 do Corps of Engineers, sendo que os valores são mostrados na Figura 8.

IDENTIFICAÇÃO	VARIAÇÃO DE PESO (%)	VARIAÇÃO DE DUREZA (Shóre)
SD	0,07	(-1)
SD	0,13	0,00
SD	0,16	(-1)
SC	0,11	0,00
SC	0,10	(-1)
SU	0,15	0,000

FIGURA 8- VALORES DE PESO E DUREZA, DEVIDO AO EFEITO DOS ÁLCALIS

3.6- Extração Acelerada

Este ensaio tem a mesma finalidade da determinação do efeito álcis, que é o de avaliar o desempenho de materiais de PVC, em contato direto com os álcalis do cimento. Neste caso, porém, as condições de exposição dos corpos de prova à solução de hidróxidos, são mais

severas, uma vez que a temperatura da solução é mantida entre 60,0 °C e 65,5 °C. Os procedimentos para ensaio, são os do item 7.1 do método CRD-C-572, do Corps of Engineers. Os valores obtidos são citados na Figura 9.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	TENSAO DE RUPTURA (Kg/cm ²)		ALONGAMENTO %	
		EXPOSTOS	NÃO EXPOSTOS	EXPOSTOS	NÃO EXPOSTOS
1 a REMESSA	SD	175	212	260	260
2 a REMESSA	SD	218	256	280	290
3 a REMESSA	SD	175	182	230	250
4 a REMESSA	SC	238	259	270	300
6 a REMESSA	SC	224	241	350	390
URUGUA-I	SU	180	213	260	260

FIGURA 9- VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DEVIDO À EXTRAÇÃO ACELERADA

3.7- Estabilidade Dimensional

O método adotado foi o ASTM-D-1204, sendo que a retirada das amostras seguiu a orientação citada na Figura 10, e os resultados obtidos são vistos na Figura 11.

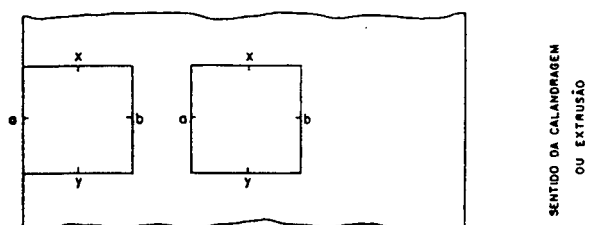


FIGURA 10 - RETIRADA DE AMOSTRA- OS PONTOS a,b,x E y SÃO REFERÊNCIAS.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	SENTIDO DO ESPECIME	VARIAÇÃO DA MEDIDA (%)	
			EIXO (a-b)	EIXO (x-y)
2 a. REMESSA	SD	EXTREMIDADE	(+0,9)	(-3,0)
		CENTRO	(+0,6)	(-2,3)
3 a. REMESSA	SD	EXTREMIDADE	(+0,7)	(-2,6)
		CENTRO	(+0,2)	(-2,1)
5 a. REMESSA	SC	EXTREMIDADE	(+0,8)	(-2,6)
		CENTRO	(+0,7)	(-2,8)
6 a. REMESSA	SC	EXTREMIDADE	(+0,5)	(-2,1)
		CENTRO	(+0,1)	(-2,2)

FIGURA 11- VALORES DE VARIAÇÃO DAS MEDIDAS LINEARES

3.8- DUREZA

O ensaio para avaliação da Dureza foi desenvolvido com base nos métodos ASTM-D-2240 e CRD-C-569, do Corps of Engineers, sendo que os parâmetros obtidos são vistos na Figura 12.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	DUREZA (Shore A)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 a. REMESSA	SD	90	1,30
2 a. REMESSA	SD	89	0,90
3 a. REMESSA	SD	90	0,80
4 a. REMESSA	SC	89	0,80
5 a. REMESSA	SC	91	0,80
6 a. REMESSA	SC	91	1,300
URUGUA-I	SU	91	1,20

FIGURA 12- VALORES DE DUREZA

3.9- Resistência ao Rasgamento

Essa determinação foi feita como descreve o método ASTM-D-1004, obtendo-se os resultados vistos na Figura 13.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	SENTIDO DO ESPECIME	CARGA DE RASGAMENTO (Kgf)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)
1 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	14	7,1
		TRANSVERSAL	13	3,5
2 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	16	3,5
		TRANSVERSAL	15	3,6
3 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	12	11,0
		TRANSVERSAL	12	7,7
4 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	15	3,8
		TRANSVERSAL	15	3,9
5 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	15	6,1
		TRANSVERSAL	13	6,3
6 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	21	2,6
		TRANSVERSAL	21	9,5
URUGUA-I	SU	LONGITUDINAL	14	3,8
		TRANSVERSAL	12	4,4

FIGURA 13- VALORES DE RESISTÊNCIA AO RASGAMENTO

3.10- Tensão de Ruptura e Alongamento à Ruptura

Estes parâmetros foram determinados segundo o método ASTM-D-638, com os valores mostrados na Figura 14.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	SENTIDO DO ESPECIME	TENSÃO DE RUPTURA		CARGA DE RUPTURA		LONGAMENTO À RUPTURA	
			MÉDIA (Kg/cm ²)	COEF. VARIA (%)	MÉDIA (Kg/mm LARG.)	COEF. VARIA (%)	MÉDIA (%)	COEF. VARIA (%)
1 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	213	1,8	4,39	1,7	260	5,0
		TRANSVERSAL	192	1,8	3,99	1,6	260	3,1
2 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	270	6,8	5,96	6,8	290	1,5
		TRANSVERSAL	243	2,2	5,37	2,3	320	6,8
3 a. REMESSA	SD	LONGITUDINAL	183	1,4	3,87	1,6	250	4,0
		TRANSVERSAL	166	0,3	3,54	0,2	260	4,2
4 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	259	0,4	5,17	0,6	290	5,2
		TRANSVERSAL	240	2,4	4,80	2,2	320	4,1
5 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	181	1,5	4,34	1,7	310	1,8
		TRANSVERSAL	166	1,5	4,00	1,5	320	5,1
6 a. REMESSA	SC	LONGITUDINAL	242	1,4	5,82	1,4	380	3,5
		TRANSVERSAL	217	4,5	5,25	4,6	370	6,0
URUGUA-I	SU	LONGITUDINAL	216	1,9	4,32	1,6	280	2,0
		TRANSVERSAL	174	2,2	3,50	2,2	270	2,0

FIGURA 14- VALORES DE TENSÃO E ALONGAMENTO À RUPTURA-(CV-COEFICIENTE DE VARIAÇÃO)

3.11- Resistência à Pressão Hidrostática

Essa determinação foi feita com base no método ASTM-D-751, adotando um limite da pressão de 11Kgf/cm², correspondente à altura da barragem. Os valores são vistos na Figura 15.

AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO	CARGA HIDROSTÁTICA (Kgf/cm ²)	COEFICIENTE DE VARIACÃO (%)
1 a REMESSA	SD	14	0
2 a REMESSA	SD	16	3,7
3 a REMESSA	SD	15	2,8
4 a REMESSA	SC	18	3,3
5 a REMESSA	SC	16	3,7
6 a REMESSA	SC	16	0
URUGUA-I	SU	14	4,0

ENSAIO	PRESSÃO APLICADA (Kgf/cm ²)	TEMPO (minutos) DECORRIDO ENTRE A APLICAÇÃO DA CARGA E A RUPTURA DO CORPO DE PROVA
1	15	2,0
2	14	9,0
3	13	43,0
4	12	108,0
5	11	NÃO ROMPEU

FIGURA 15- VALORES DO ENSAIO DE PRESSÃO HIDROSTÁTICA

5- CONSIDERAÇÕES

O desenvolvimento dos estudos levou a uma geomembrana que atendeu às especificações estabelecidas.

6- ESTIMATIVAS ECONÔMICAS

Com base na disponibilidade técnica da geomembrana, para impermeabilização, pode ser feita uma avaliação ilustrativa de custos para algumas opções. Para tanto foram adotadas as configurações de um barramento como ilustra a Figura 16. Foram admitidos dois sistemas de impermeabilização-(A) Membrana de concreto massa de baixa permeabilidade (10^{-13} m/s), e (B)- Membrana de PVC, entre placas de concreto pré-moldado, com uma camada de concreto de proteção. A membrana de concreto teve sua espessura calculada pela expressão $e = (2.p.k.t/a)^{1/2}$, sendo:

- e = espessura da membrana de concreto;
- p = pressão da coluna de água;
- k = coeficiente de permeabilidade do concreto;
- t = vida útil (100 anos)
- a = absorção do concreto.

Para efeito desta avaliação foram adotados os seguintes parâmetros de custos:

- manta de PVC, com 2mm de espessura (colocada) = 15,0 US\$/m²
- Concreto de baixa permeabilidade (colocado) = 130,0 US\$/m³
- Concreto pré-moldado, das placas = 150,0 US\$/m³
- Concreto de proteção da geomembrana = 120,0 US\$/m³

Com esses parâmetros se chega aos valores da Figura 16.

7- COMENTÁRIOS

Os parâmetros alcançados pela geomembrana de PVC desenvolvida mostram que o material se apresenta como uma opção técnica para a impermeabilização de barramentos.

As aferições de custo, embora com valores grosseiros, mostram uma sensível vantagem econômica do emprego da manta de PVC, de espessura de 2mm, alertando para que a vantagem torna-se maior para barramentos altos (acima de 50m) e vales abertos, do que barramentos baixos.

A eventual utilização de barramentos em solo-aglomerante [17], com a necessidade de se estabelecer uma impermeabilização à montante, poderá requerer o emprego de uma geomembrana para essa finalidade

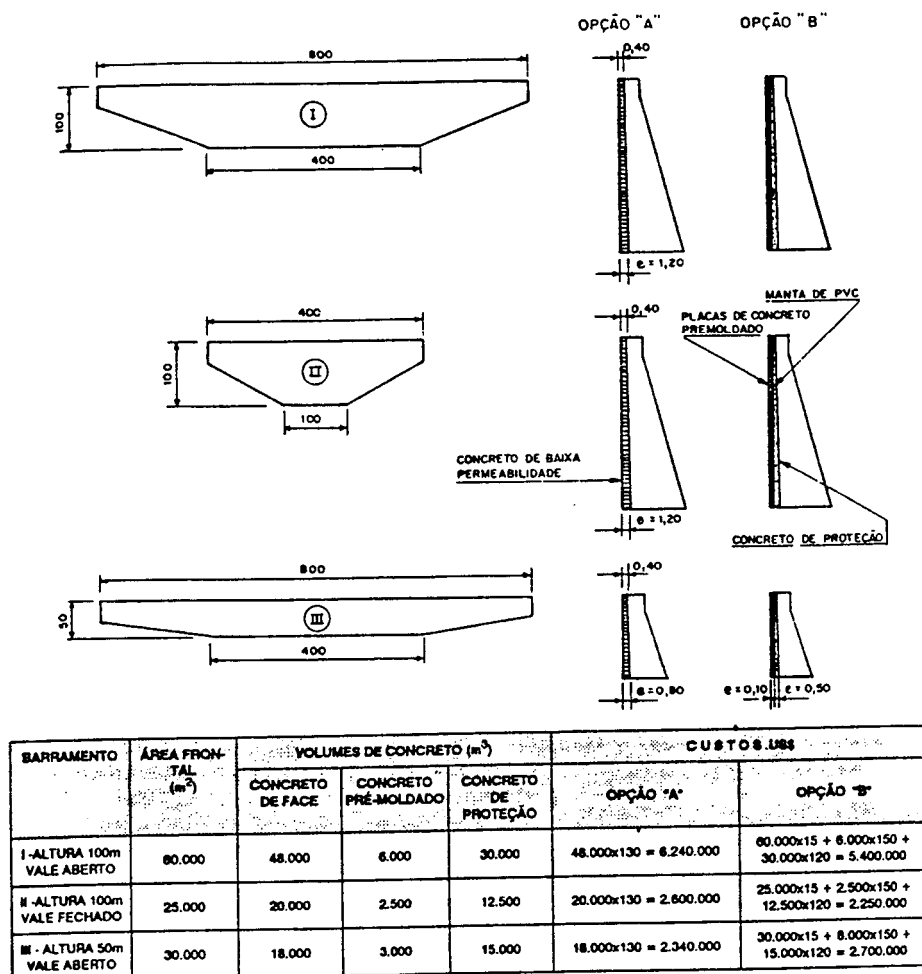


FIGURA 16- AVALIAÇÃO -APROXIMADA- DE CUSTOS

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- GROSSMAN,S; SÄNGER,F.-"Experience with Thermoplastic Water proofing Systems in Dam Construction in the German Democratic Republic"- XVI ICOLD - San Francisco-1988;
- [2]- Italian National Committee on Large Dams- "Embankment Dams With Impervious Upstream Facings: An Overview of Italian Practice"- XVI ICOLD - San Francisco-1988;
- [3]- SEMBENELLI,P.; CUNIBERTI,J.S.-"Engineered Geomembrane Linings "-XVI ICOLD - San Francisco-1988;
- [4]- BARTUSEK,J.; HOBST,L.; HOBST,O.- "The Development of Dam Lining Using Plastic Foils in Czechoslovakia"- XVI ICOLD - San Francisco-1988;
- [5]- FOREST, M.P.; SMITH,E.S.; KMETZ,J.H.; BURANEK,D.- "Stillwater Impoundment Geomembrane Liner: Engineering and Construction"- XVI ICOLD - San Francisco-1988;
- [6]- EARIE, H.S.; MCGREGOR, I.R.- "The Application of a Geomembrane at Nigeria's Isanlu Dam"- Water Power & Dam Construction- June/1988;
- [7]- WAECHTER, H; HAUG, W.; HAHN,U.- "Specialist Construction Plant Developed for Aiz Canal Refurbishment"- Water Power & Dam Construction- December/1988;
- [8]- LIPPERT, T.L.; HAMMER, G.G.- "The Use of Geomembrane in Heightening the Pactola Dam"- Water Power & Dam Construction- February /1989;
- [9]- ZUCCOLI,G.; SCALABRINI,C.; SCUERO,A.- "The Use of Geomembrane for Arch Dam Repair"- Water Power & Dam Construction- February /1989;

- [10]- ANDRIOLO,F.R.- “Desenvolvimento de Mantas de P.V.C.- Opção Técnica e Econômica para Impermeabilização de Barragens”- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens- Aracaju-Brasil- Março-1991
- [11]- GOLIK,M.A.; ANDRIOLO,F.R.- “Urugua-i (CCR) - Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem “-XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens- Foz do Iguaçu-Brasil- Abril -1989;
- [12]- GOLIK,M.A- “Membrana de PVC su Aplicación en el Tramo Principal de la Presa de H.C.R. de Urugua-i”- XVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens- Foz do Iguaçu-Brasil- Abril -1989;
- [13]- Seção 8- Dispositivos de Vedação - Especificações Técnicas - Itaipu Binacional;
- [14]- CRD-C- 572- Corps of Engineers Specifications for Poly Vinylchloride Waters Stop;
- [15]- ASTM- D- 3083 - Standard Specification for Flexible Poly (Vinylchloride) Plastic Sheeting for Pond, Canal and Reservoir Lining;
- [16]- Relatórios da Itaipu Binacional para a Obra de Capanda.
- [17]- ANDRIOLO, F.R.; SALLES, F.M.; OLIVEIRA, P.J.- “Solo