



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL**  
Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias  
Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

**Projeto Executivo do Lote C - Eixo Leste**

## **NOTA TÉCNICA**

### **BARRAGEM MANDANTES**

### ***DIMENSIONAMENTO DA GEOMEMBRANA***

**1230-NTC-2106-04-02-001-R02**  
**RECIFE-PE**

**C O N S Ó R C I O**

**TECHNE • PROJETEC • BRLi**

**Abril - 2010**



**PROJETEC**





## **MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL**

Secretaria de Infra-estrutura Hídrica

**Projeto de Integração do Rio São Francisco com  
Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**

**Projeto Executivo do Lote C – Eixo Leste**

# **NOTA TÉCNICA**

## **BARRAGEM MANDANTES**

### ***DIMENSIONAMENTO DA GEOMEMBRANA***

1230-NTC-2106-04-02-001-R02

RECIFE-PE

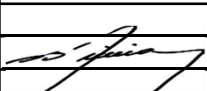

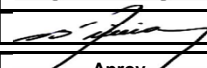
C O N S Ó R C I O  
  
TECHNE • PROJETEC • BRL

**Abril - 2010**



<b>NOTA TÉCNICA - BARRAGEM MANDANTES - DIMENSIONAMENTO DA GEOMEMBRANA</b>																														Número  <b>1230-NTC-2106-04-02-001</b>										Folha 1/1									
Esta folha índice indica em que revisão está cada folha na emissão citada																																																	
Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7	Fl/Rev	0	1	2	3	4	5	6	7														
1									36									71								106																							
2									37									72								107																							
3									38									73								108																							
4									39									74								109																							
5									40									75								110																							
6									41									76								111																							
7									42									77								112																							
8									43									78								113																							
9									44									79								114																							
10									45									80								115																							
11									46									81								116																							
12									47									82								117																							
13									48									83								118																							
14									49									84								119																							
15									50									85								120																							
16									51									86								121																							
17									52									87								122																							
18									53									88								123																							
19									54									89								124																							
20									55									90								125																							
21									56									91								126																							
22									57									92								127																							
23									58									93								128																							
24									59									94								129																							
25									60									95								130																							
26									61									96								131																							
27									62									97								132																							
28									63									98								133																							
29									64									99								134																							
30									65									100								135																							
31									66									101								136																							
32									67									102								137																							
33									68									103								138																							
34									69									104								139																							
35									70									105								140																							

02	30/07/2013	José Cláudio Acciolly	H		Documento cancelado conforme CTE 6913
01	21/01/2011	José Cláudio Acciolly	C		Inserção do nº da ATA 0823
00	05/04/2010	José Cláudio Acciolly	C		Emissão Inicial

Rev.	Data	Por	Em.	Aprov.	Descrição das revisões
<b>TIPO DE EMISSÃO</b>					
(A) Preliminar			(E) Para Construção		(I) de Trabalho
(B) Para Aprovação			(F) Conforme Comprado		( )
(C) Para Conhecimento			(G) Conforme Construído		( )
(D) Para Cotação			(H) Cancelado		( )

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>II</b>
<b>1      INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2      DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DA GEOMEMBRANA.....</b>	<b>2</b>
<b>3      DIMENSIONAMENTO DA GRAMATURA DO GEOTÊXTIL .....</b>	<b>4</b>
<b>4      CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1    APLICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS EM BARREIRAS DE CONTROLE DE FLUXO.....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.1    Fixação em Superfícies de Concreto .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.1.1    Com Perfil e Parafuso .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.1.2    Com perfil PEAD (inserts) .....</b>	<b>8</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE ESPESSURA DA GEOMEMBRANA .....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA 2: SEÇÃO MÁXIMA (E. 46+10,00), CONSIDERADA PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESPESSURA DA GEOMEMBRANA.....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA 3 - FORÇAS CONSIDERADAS NO DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DE GEOMEMBRANA .....</b>	<b>3</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A fundação da Barragem Mandantes é composta de um pacote aluvionar com alternâncias de camadas sub - horizontais de conglomerado/arenito/argilito de baixo teor de umidade natural e com o N.A bastante profundo.

Face às alternâncias de materiais argilosos expansivos e de solo colapsível de alteração de arenito, espera-se um quadro de recalques algo caótico, não possível, a priori, de ser quantificado de forma adequada, apesar das sondagens executadas. No entanto, pode-se esperar a ocorrência recalques diferenciais significativos nas estruturas auxiliares da barragem e no seu maciço, levando, provavelmente, ao fissuramento do aterro.

Esse fissuramento pode ocorrer tanto por abertura de fraturas em zonas de tração, quanto por fraturamento hidráulico em zonas de arqueamento que gerem tensões localmente baixas, permitindo então a passagem franca da água através do aterro com os riscos associados de “piping” no talude de jusante.

Considera-se como seção tipo mais adequada para enfrentar essa situação, uma seção homogênea constituída pelo material conglomerático existente nas proximidades da obra, que é, ao mesmo tempo, o de melhor trabalhabilidade, o de maior resistência ao cisalhamento, o de menor compressibilidade, e o de menor custo de execução.

De forma a garantir a completa impermeabilização da face de montante desse aterro, previu-se a colocação de uma geomembrana de PEAD, que tem uma grande capacidade de se adequar às acomodações do maciço provocadas pelos recalques diferenciais, sem se romper, uma vez que é dotada de uma grande capacidade de deformação à tração antes de atingir a ruptura.

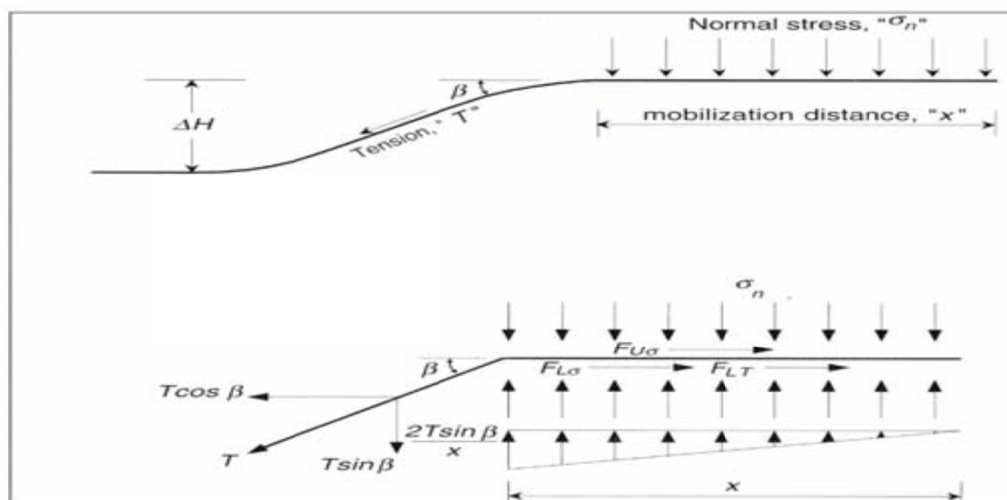
De forma a proteger a geomembrana contra perfurações, estouro e rasgo pelo punção provocado pela camada de enrocamento prevista na concepção da seção da barragem, foi indicado o emprego de manta de geossintético não-tecido e agulhado.

O dimensionamento e a forma de fixação e emendas com as estruturas de concreto existentes, foi feito com base em pesquisa nas publicações e contatos com os diversos fabricantes das mantas.

A seguir apresenta-se o dimensionamento da espessura da geomembrana a ser aplicada na impermeabilização da barragem Mandantes e determinação de gramatura do geotêxtil não-tecido utilizado como proteção, bem como o modelo e as recomendações para a fixação nas superfícies de concreto.

Para que se possa validar as metodologias de cálculo aqui apresentadas, adotamos as mesmas presentes em literaturas de âmbito e respeito técnico nacional e internacional no segmento de geossintéticos e geomembranas, como: Vertematti, José Luiz; Manual Brasileiro de Geossintéticos (MBG) – 2004 e Koerner, Robert M.; Designing with Geosynthetics – 1998; Manual de Recomendações do IGS (International Geosynthetics Society, conforme **Figura 1** abaixo:

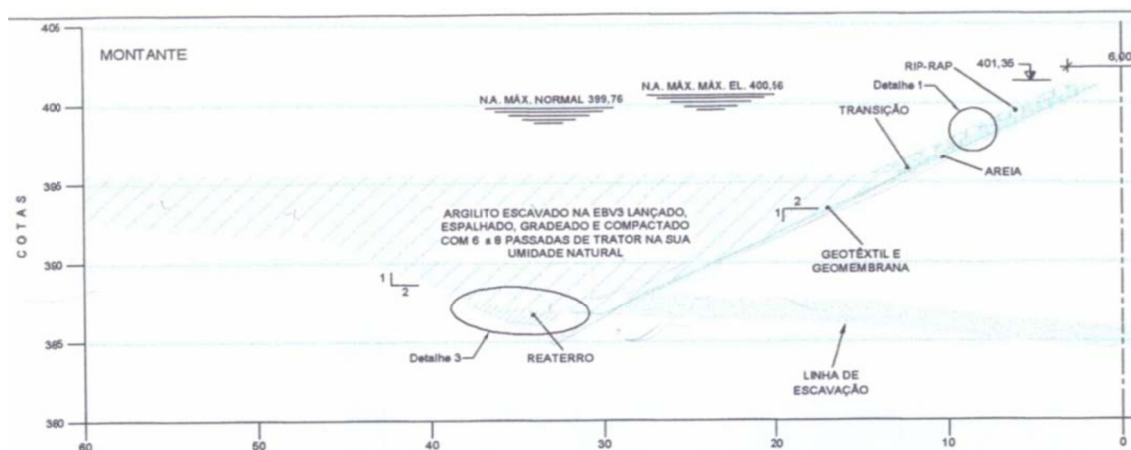
**Figura 1 - Metodologia de Cálculo para Dimensionamento de Espessura da Geomembrana**



**Fonte:** Designing with Geosynthetics, Koerner (1998).

Para representar os estados de solicitações das geomembranas, utilizamos para efeito de cálculo, as informações extraídas da seção geométrica enviada ao nosso departamento, conforme **Figura 2**:

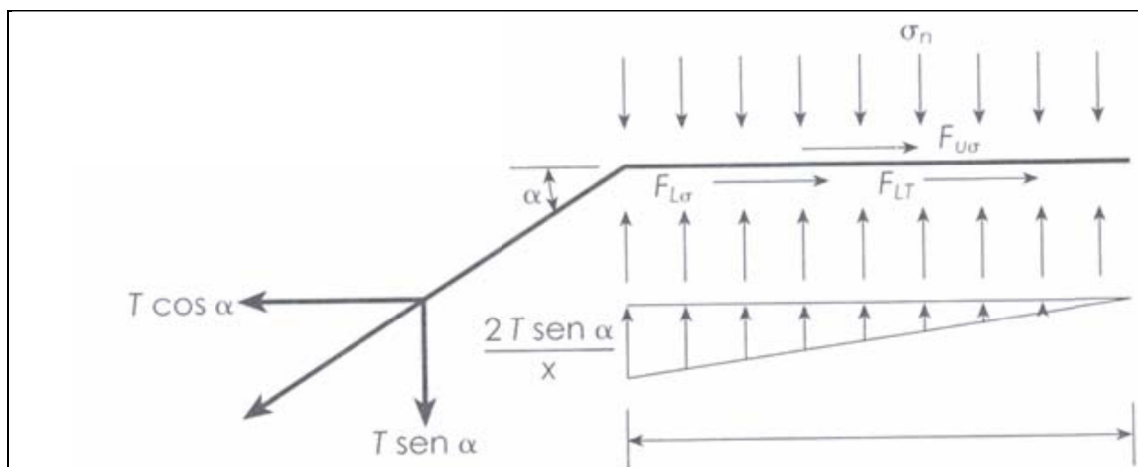
**Figura 2: Seção Máxima (E. 46+10,00), Considerada para o Dimensionamento de Espessura da Geomembrana.**



## 2 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DA GEOMEMBRANA

Para o dimensionamento da espessura da geomembrana, os critérios baseiam-se nas deformações sob a superfície que o revestimento pode experimentar em toda sua vida útil, proporcionadas por assentamentos diferenciais do solo de apoio ou por qualquer tipo de condições anormais que possam colocar a geomembrana em tensões não previstas em projeto, conforme **Figura 3**.

**Figura 3 - Forças Consideradas no Dimensionamento da Espessura de Geomembrana**



**Fonte:** Designing with Geosynthetics, Koerner (1998).

Conhecido o valor de  $\beta / \alpha$  (inclinação do talude à montante), que é igual a  $27^\circ (2H : 1V)$ , obtém-se o valor da tensão na geomembrana, que é igual ao esforço permissível pela espessura ainda desconhecida:

$$T = \sigma_{perm} t$$

$T \Rightarrow$  Tensão mobilizada na geomembrana

$\sigma_{adm} \Rightarrow$  Esforço admissível na geomembrana

$t \Rightarrow$  Espessura da geomembrana

A tensão resulta de sua componente horizontal  $x F$ , a qual deve ser resistida pelas forças demonstradas na figura 4.

$$\sum F_x = 0$$

$$T \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT}$$

Como  $T = \sigma_{adm}$ , têm-se:

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)}$$

$\beta \Rightarrow$  Ângulo de assentamento que mobiliza a tensão na geomembrana

$F_{U\sigma} \Rightarrow$  Força de atrito sobre a geomembrana devido à pressão do líquido

$F_{L\sigma} \Rightarrow$  Força de atrito sob a geomembrana devido à pressão do líquido

$F_{LT} \Rightarrow$  Força de atrito sob a geomembrana devido a componente vertical de  $T$

$\sigma_n \Rightarrow$  Esforço aplicado pelo volume de água

$\delta \Rightarrow$  Ângulo de resistência ao atrito entre a geomembrana e o material adjacente

$x \Rightarrow$  Distância de deformação mobilizada da geomembrana



#### Considerações:

- o Solo de fundação: Solo arenoso e geomembrana de superfície lisa, portanto  $\Rightarrow \delta_L = 17^\circ$
- o Considerando  $N.A._{max} = 16,00m \Rightarrow \sigma_n = \gamma_{água} h_{N.A.} = 16,00 \times 10 \text{ kN/m}^3 = 160,00 \text{ kPa}$
- o A metodologia estabelece como distância mínima de mobilização para geomembranas em PEAD de 150 a 100mm, portanto a favor da segurança adotaremos  $x=150mm$
- o Ângulo do talude de  $27^\circ \Rightarrow \beta = 27^\circ$
- o Cobertura da geomembrana: Será aplicado sobre a mesma um geotêxtil não tecido  $\Rightarrow \delta_U = 8^\circ$
- o A metodologia estabelece como tensão admissível da geomembrana ( $\sigma_{adm}$ ) o intervalo de 6.000 kPa à 15.000 kPa, consideraremos 6.000KPa, a favor da segurança.

Portanto teremos:

$$t = \frac{\sigma_n \cdot x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan \delta_L)}$$

$$t = \frac{[(160) \cdot (0,150)] (\tan 8 + \tan 17)}{6000 (\cos 27 - \sin 27 \cdot \tan 17)}$$

$$t = 0,0023731m = 2,37mm$$

A espessura comercial disponível mais próxima da obtida em cálculo é igual a 2,50mm. Portanto a espessura que poderá se comercializada para a Impermeabilização da barragem em referencia, agregando um fator de segurança mínimo contra possíveis danos mecânicos durante a instalação, deve ser de no mínimo **2,50mm**.

### 3 DIMENSIONAMENTO DA GRAMATURA DO GEOTÊXTIL

Devido à presença de uma camada de transição em pedras e enrocamento sobre a impermeabilização da barragem, foi possível constatar a necessidade de um elemento que proteja a geomembrana contra possíveis perfurações/puncionamento, estouro e rasgo. O atrito e conseqüente abrasão à que poderá submeter-se a geomembrana podem alterar suas propriedades físicas e mecânicas como a própria diminuição da espessura, uma vez conhecida a interferência desta na resistência da mesma.

Para a sua proteção mecânica será indicado um geossintético não tecido e agulhado que exercerá a função protetora contra estas intempéries. O geotêxtil não tecido exerce com grande destaque esta função, oferecendo à geomembrana a proteção necessária, suportando sucessivas contrações e dilatações por efeito das variações térmicas que experimentam as geomembranas entre outras várias vantagens como a execução de trabalhos de soldagem mais limpa e incremento de resistência ao puncionamento.

A metodologia de cálculo está simplificada no enfoque da proteção da geomembrana de espessura de 2,50mm, considerando inicialmente um fator de segurança:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}}$$

Onde:

$FS \Rightarrow$  Fator de segurança contra o puncionamento da geomembrana

$P_{adm} \Rightarrow$  Pressão admissível utilizando-se de diferentes tipos de geotêxteis sob condições específicas do local (kPa)

$P_{req} \Rightarrow$  Pressão atuante devido ao carregamento sobre a geomembrana (volume de água) (kPa)

Tem-se, para o cálculo de  $P_{adm}$ :

$$P_{adm} = \left( 450 \frac{M}{H^2} \right) \left[ \frac{1}{FM_S \cdot FM_{DR} \cdot FM_A} \right] \left[ \frac{1}{FR_{FL} \cdot FR_{DQB}} \right]$$

Onde:

$P_{adm} \Rightarrow$  Pressão admissível (kPa)

$M \Rightarrow$  gramatura do geotêxtil ( $g/m^2$ )

$H \Rightarrow$  Altura efetiva da protuberância (mm)

$FM_S \Rightarrow$  Fator de modificação devido à forma da protuberância

$FM_{DR} \Rightarrow$  Fator de modificação devido ao espaçamento entre as protuberâncias

$FM_A \Rightarrow$  Fator de modificação devido à carga sobre a geomembrana

$FR_{FL} \Rightarrow$  Fator de redução por fluência do material (Creep)

$FR_{DQB} \Rightarrow$  Fator de redução por degradação química/biológica a longo prazo

Considerações para o dimensionamento em acordo com os valores de fatores tabelados e correspondentes abaixo:

**Fatores de modificação (FM) para projetos com geomembranas usando geotêxteis não tecidos e agulhados (Fonte: Designing with Geosynthetics, Koerner)**

$FM_S$		$FM_{DR}$		$FM_A$	
Angulares	1.0	Isolada	1.0	Hidrostática	1.0
Intermediárias	0.5	Próxima, 38 mm	0.83	Geoestática, baixa	0.75
Arredondadas	0.25	Próxima, 25 mm	0.67	Geoestática, intermediária	0.50
		Próxima, 12mm	0.50	Geoestática, elevada	0.25

**Fatores de redução (FR) para projetos com geomembranas usando geotêxteis não tecidos e agulhados (Fonte: Designing with Geosynthetics, Koerner)**

$FR_{DQS}$		$FR_{FL}$			
		Gramatura/ Protusão	38	25	12
Chorume pouco agressivo	1.1	Apenas Geomembrana, sem o geotêxtil protetor	N/R	N/R	N/R
Chorume moderado	1.3	270	N/R	N/R	>1.5
Chorume muito agressivo	1.5	550	N/R	1.5	1.3
		1100	1.3	1.2	1.1
		>1100	1.2	1.1	1.0

N/R = Não Recomendado

Baseada nas informações do solicitante, adotaremos os seguintes valores de fatores:

$FM_s$	Fator de modificação devido à forma da protrusão (pedras intermediárias)	0,50
$FM_{DR}$	Fator de modificação devido ao espaçamento da protuberância (próxima 12 mm)	0,50
$FM_A$	Fator de modificação devido à carga sobre a geomembrana (hidrostática)	1,00
$FR_{FL}$	Fator de redução por creep	Em função da gramatura
$FR_{DQB}$	Fator de redução a longo prazo por degradação química/biológica (água = pouco agressivo)	1,10

OBS.: A favor da segurança trabalharemos com altura de protuberâncias máxima de  $(H) = 38mm$  e um Fator de segurança (FS) de 3.

Portanto:

$$P_{adm} = FS \cdot P_{req}$$

$$P_{adm} = 3.16,00m.10kN/m^3$$

$$P_{adm} = 480,00kPa$$

Têm-se:

$$P_{adm} = \left( 450 \frac{M}{H^2} \right) \left[ \frac{1}{FM_s \cdot FM_{DR} \cdot MF_A} \right] \left[ \frac{1}{FR_{FL} \cdot FR_{DQB}} \right]$$

Substituindo-se:

$$M = \frac{P_{adm} \cdot (H)^2 (FM_s \cdot FM_{DR} \cdot FM_A) (FR_{FL} \cdot FR_{DQB})}{450}$$

$$M = \frac{480,00kPa \cdot (38mm)^2 \cdot (0,50 \cdot 0,50 \cdot 1,00) \cdot (FR_{FL} \cdot 1,10)}{450}$$

$$M = 423,60 \cdot FR_{FL}$$

Onde  $FR_{FL}$  não pode ser inferior à 1,3, portanto:

$$M = 423,60 \cdot 1,3$$

$$M = 550,68gr/m^2$$

Portanto, com base na gramatura calculada de 550,68 g/m<sup>2</sup>, comercialmente a gramatura que atenderá as solicitações de projeto será um Geotextil de 600gr/m<sup>2</sup>.

## 4 CONCLUSÕES GERAIS

Deve-se considerar que o dimensionamento da geomembrana, a ser aplicada na obra em questão, foi calculado sob condições normais de solicitação, ou seja, na aplicação sobre um subleito regularizado e uniforme, livre de protuberâncias, vegetação ou materiais que possam punção-la ou danificá-la mecanicamente e ainda quando confirmada a estabilidade geotécnica do maciço. Somente no dimensionamento da gramatura do geotêxtil foram consideradas as condições reais do projeto, uma vez que o geotêxtil servirá como uma camada de sacrifício, protegendo a geomembrana de possíveis degradações sofrida pelo contato com as protuberâncias. Ainda assim o leito deverá apresentar as características físicas e geotécnicas supracitadas, para validação dos cálculos.

Todos os dimensionamentos aqui apresentados foram baseados nas informações enviadas ao nosso departamento no momento da solicitação do relatório técnico. Quaisquer informação utilizada no dimensionamento, se diferente da realidade da obra, deve ser informada ao nosso departamento para que os cálculos sejam reavaliados e possivelmente adequados à nova realidade, seja por modificações no projeto ou similar.

Diante do exposto, podemos concluir que com a utilização da geomembrana PEAD de espessura de 2,50mm e impreterivelmente com a adição de um geotêxtil protetor com gramatura de 600 gr/m<sup>2</sup>, na interface de apoio, serão atendidas todas as solicitações a que este revestimento deverá resistir sem o comprometimento de sua eficácia, como demonstrado através dos cálculos explicitados neste relatório.

Em resumo, espera-se desta forma, ter contribuído para a obra em referência de maneira a propor uma solução criteriosamente especificada, onde a geomembrana selecionada oferecerá melhor performance promovendo assim a funcionalidade do sistema.

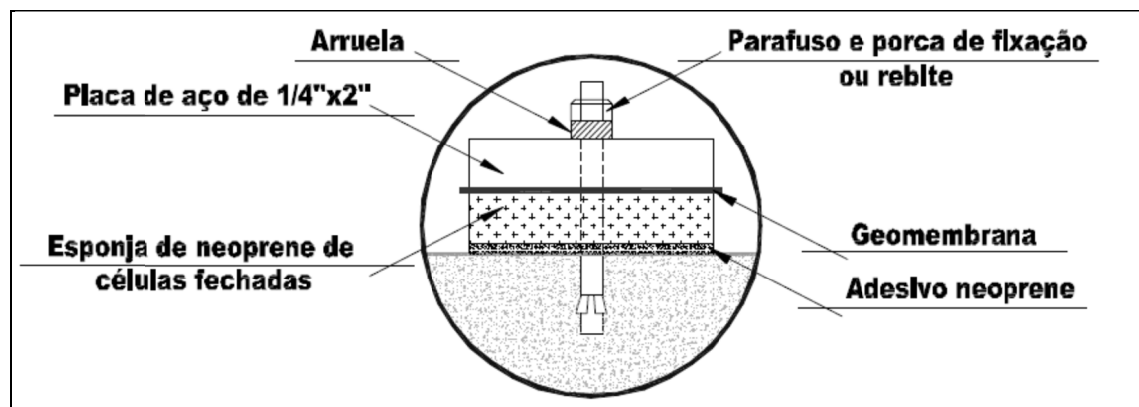
Agradecemos cordialmente a atenção e estaremos à disposição para qualquer esclarecimento sobre o tema em questão.

#### **4.1 APLICAÇÃO DOS GEOSSINTÉTICOS EM BARREIRAS DE CONTROLE DE FLUXO**

##### **4.1.1 Fixação em Superfícies de Concreto**

###### **4.1.1.1 Com Perfil e Parafuso**

A geomembrana pode ser colocada diretamente sobre o concreto ou sobre uma esponja de neoprene. A fixação pode ser feita por meio de um perfil de aço inox ou alumínio preso ao concreto com parafuso e porca, rebite ou fixação especial, conforme figura abaixo:



#### 4.1.1.2 Com perfil PEAD (inserts)

O perfil de PEAD deverá ser embutido no concreto na ocasião da construção e a geomembrana soldada por extrusão diretamente sobre ele, conforme figura abaixo:

