



I-080 – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BAG NACIONAL PARA DESÁGUE DE LODO DE ETA

Soraia Giordani⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheira da Unidade de Projetos Especiais (USPE) da SANEPAR-PR.

Micheli Misturini

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Estagiária da Unidade de Projetos Especiais (USPE) da SANEPAR-PR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças - Curitiba - PR - CEP: 80.215-900 - Brasil - Tel: (41) 3330-3627 - e-mail: soraia@sanepar.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta e discute os resultados da avaliação em escala piloto e real do desempenho de bag nacional para deságüe de lodo de ETA. Os testes em escala piloto foram realizados na ETA Iguaçu e os testes em escala real foram realizados na ETA Passaúna, ambas situadas na região metropolitana de Curitiba. A ETA Iguaçu, cuja vazão de projeto é 3.400L/s trata águas provenientes da captação do rio Iguaçu. Na ETA Passaúna, a vazão de projeto é 2.400L/s e a mesma trata águas provenientes da Barragem Passaúna. O processo utilizado nestas duas ETAs é o tipo convencional completo.

O bag nacional, recentemente desenvolvido no Brasil, é um sistema tipo bolsa ou sistema tubular para desaguamento de lodos, que podem ser previamente condicionados com polieletrólitos ou não. O deságüe ocorre através da contenção dos sólidos no interior da bolsa e drenagem da parcela líquida também conhecida como clarificado ou percolado.

Para avaliação do desempenho deste bag nacional foi analisada a qualidade do clarificado produzido em termos de Cor, Turbidez e pH, assim como o desempenho do referido bag em relação ao deságüe do lodo contido em termos de Teor de Sólidos-TS. As análises de qualidade dos clarificados produzidos foram realizadas nas próprias ETAs, utilizando equipamentos de bancada. As amostras de lodo foram analisadas no laboratório da ETE Atuba Sul, utilizando metodologia estabelecida pelo Standard Methods.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, Bag para deságüe, Deságüe, Geotêxtil, Bolsa de deságüe, Sistema Tubular de deságüe.

INTRODUÇÃO

Os sistemas tubulares, também conhecidos como bolsa ou bag, tiveram sua primeira aplicação na área da geotecnia para contenção de processos erosivos. Posteriormente estes elementos passaram a ser destinados à desidratação de sedimentos ou lodos contaminados onde, em alguns casos, a aplicação pode se dar tendo as duas finalidades, num primeiro momento desidratação e posteriormente à contenção.

Este sistema tem por objetivo reter os sólidos contidos no material a ser desaguado e permitir a passagem do fluido, promovendo o deságüe do lodo. O mesmo pode ser confeccionado utilizando geotêxtil tecido ou não tecido. A maior parte dos fabricantes, preconiza a realização prévia de condicionamento com polímeros e floculação.

A confecção das bolsas ou tubos, a abertura da malha assim como a forma de costura do geotêxtil são definidos de acordo com as características do lodo a ser desaguado, do clarificado pretendido e dos contaminantes presentes. As dimensões das bolsas são função da disponibilidade de área para acomodação das mesmas durante desaguamento.

Sua eficiência é função de várias características inerentes ao lodo que se pretende desaguar, polímero utilizado, tamanho e formato das bolsas, tipo de tecido utilizado entre outros. Desta forma deve-se proceder a ensaios para avaliação, não somente da qualidade do tecido proposto, mas também de sua eficiência para o lodo que se pretende desaguar.



Visando a responder algumas destas questões para o caso de um sistema tubular recentemente inserido no mercado nacional, foram procedidos na Sanepar ensaios com avaliação em escala piloto e real do desempenho de um bag nacional, para deságüe de lodo de ETA. Os testes em escala piloto foram realizados na ETA Iguaçu e os testes em escala real foram realizados na ETA Passaúna, ambas situadas na região metropolitana de Curitiba. Este artigo apresenta os métodos utilizados e discute os resultados desta pesquisa.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas tubulares de geotêxtil, ou sistemas tipo bolsa ou bag de deságüe são destinados à contenção e desidratação de material lodoso. Este sistema tem por objetivo reter a parcela sólida do lodo e permitir a passagem da parcela líquida, sendo conseguido o deságüe do lodo. Além de boa filtrabilidade e capacidade de retenção de sólidos, o tecido especificado deve resistir às tensões ao qual todo o sistema será submetido.

Segundo Castro (2005), esta técnica teve seu início nos anos 80 com a finalidade de empregar tubos de geotêxtil para contenção de material granular, no intuito de gerar diques para a construção de aterros hidráulicos ou para controle de erosão. A partir do mesmo princípio, experiências voltadas para a questão ambiental, na contenção de material contaminado e material dragado fino foram surgindo e, desde então, tem-se confirmado que, quando dimensionados corretamente, os tubos de geotêxtil para desaguamento de materiais finos são uma alternativa viável, principalmente do ponto de vista econômico.

Estes sistemas têm larga aplicação internacional em deságüe de lodo de ETA e ETE, assim como sedimentos contaminados de forma geral. Ha poucos anos vem sendo utilizado no Brasil como alternativa para o deságüe dos lodos do saneamento, no princípio, com a utilização quase que exclusiva de Bags importados e mais recentemente utilizando bags desenvolvidos no Brasil, com possibilidade de redução dos custos.

Dependendo da solicitação, os tubos podem ser confeccionados com uma ou duas camadas de geotêxtil. No caso de duas camadas, a primeira e mais interna será responsável pela filtração e a segunda e mais externa será responsável pela resistência às tensões geradas.

Pesquisa realizada por Castro (2005) mostra que não há uma concepção padrão dos tubos. Ela é função de cada caso proposto, devendo ser considerados, o volume de material, sua granulometria, tipo de contaminante se houver, área disponível para desaguamento, bomba para preenchimento, etc. A técnica de desaguamento por tubos têxteis tem a possibilidade de ser aplicada em diferentes tipos de materiais com diferentes composições e a sua viabilidade econômica e contribuição ambiental são indiscutíveis em vários casos.

As mantas devem ser costuradas de acordo com a resistência necessária para resistir aos esforços gerados durante o enchimento e consolidação. As dimensões dos tubos variam conforme a quantidade de material a ser contido, disponibilidade de espaço físico para o deságüe assim como a resistência do geotecido utilizado. O local de desaguamento deve ser definido em função da natureza dos contaminantes presentes e a possibilidade de destino ou uso do líquido drenado. Todavia deve ser considerado que um pátio impermeabilizado deve ser providenciado para a acomodação dos tubos a fim de que o sistema seja eficientemente contido (Castro, 2005).

Segundo publicação de Fowler et al (2002) onde foram divulgados os resultados de estudos realizados com tubos geotêxteis aplicados ao deságüe de lodos produzidos em Estações de Tratamento de Esgoto–ETEs, os tubos de geotêxtil são eficientes no processo de desaguamento e no que se refere à qualidade da água drenada. Tal eficiência foi comprovada através de ensaios de filtração e consolidação.

O primeiro teste foi realizado em duas bolsas de geotêxtil também conhecidas como “Bag teste”, onde não foram observadas diferenças significativas quanto à capacidade de desaguamento dos geotêxteis não-tecido de poliéster e polipropileno. No líquido drenado ou clarificado, foi observado um decréscimo das colônias de coliformes em menos de 29 minutos. O segundo teste, focado na avaliação de presença de metais pesados no líquido drenado, obteve reduções significativas das concentrações de metais e um deles sequer foi detectado após o deságüe. O terceiro e último teste consistiu na confecção de um tubo de geotêxtil de largura equivalente a real e pequeno comprimento para avaliação da consolidação. O tubo apresentava duas camadas, a externa composta por um geotêxtil tecido de polipropileno e a interna por um geotêxtil não-tecido também de polipropileno. Após 65 dias de consolidação, a altura do tubo que era de 1,5 m, resultou em 0,44 m. Cabe destacar que neste estudo 90% do deságüe aconteceu nos primeiros 26 dias, prazo este bem mais longo que o



ensaio com as bolsas ou Bag teste que, para alcance do mesmo resultado levou de 4 a 5 dias. Como consequência este autor conclui que ensaios em bolsas de dimensões reduzidas não devem ser usados para previsão de comportamento em consolidação, uma vez que este está ligado ao peso próprio do material e do diâmetro do tubo.

Corroborando com este autor, Castro (2005), cita que um ensaio preliminar com bolsas de geotêxtil é fundamental para a análise da retenção das partículas e do comportamento do sistema no decorrer da filtração do material, permitindo também a avaliação da retenção dos contaminantes (se houver) através do líquido drenado. Todavia a mesma destaca que este ensaio, não permite a análise da capacidade de desaguamento por completo, uma vez que este processo está ligado ao volume de material a ser desaguado em relação à área filtrante.

Cabe comentar que a experiência mostra que, quando um material lodoso passa por um processo de filtração em geotecido ocorre no início o escape ou perda de partículas sólidas juntamente com o clarificado o que para rapidamente e a água drenada torna-se límpida. Estes processo, que provavelmente ocorre devido à colmatação física ou biológica do geotêxtil, é conhecido como “Filter Cake”, o qual melhora a qualidade do filtrado, porém diminui a permeabilidade do sistema (Leshchinsky 1992 e Gaffney et al 1999 citados em Castro 2005).

Isto pode provocar o surgimento de um núcleo com alto teor de umidade, tornando-se, algumas vezes, necessária a abertura dos tubos pra que haja evaporação da parcela líquida. Na situação atual, apenas experimentos em verdadeira grandeza, pelo menos em termos de seção transversal, poderiam permitir avaliar a eficiência do desaguamento (Castro, 2005).

No tocante ao dimensionamento dos tubos de geotêxtil, a análise deve ser realizada em duas etapas. A primeira trata do estudo da forma que a bolsa ou tubo irá assumir, a segunda trata do estudo das tensões a que as bolsas ou tubos serão submetidas. Para análise da forma, as hipóteses mais comumente consideradas para a seção transversal do bag após o enchimento são: elíptica, elíptica achatada, falsa elipse e retangular. A conformação do tubo após enchimento é função das pressões impostas, forma de costura, tipo de tecido, velocidade de enchimento e das características do material inserido no tubo.

Em verdade o que ocorre é uma variação da forma com o enchimento indo desde o retângulo, podendo alcançar uma circunferência passando pela elipse e/ou falsa elipse.

Pilarczyk (2000) reúne algumas propostas, seus respectivos critérios e hipóteses que avaliam aspectos de comportamento diante das tensões sentidas pelo geossintético.

Segundo este autor, a questão da variação da seção transversal com o enchimento torna a modelagem matematicamente complexa, o que pode ser resolvido por rotinas de análise numérica, como é o caso do programa GeoCoPSTM (Geosynthetic Confined Pressurized Slurry) que, no dimensionamento de tubos de geotêxtil para deságue de sedimentos tem apresentado bons resultados, os quais já foram comprovados através da comparação das saídas deste programa com ensaios de laboratório. Segundo diversos autores entre eles Fowler et al 2002 e Leshchinsky e Leshchinsky 2002, este é o método mais utilizado atualmente. A figura 1 apresentada a seguir ilustra a comparação das estimativas do programa GeoCoPSTM e medidas por Liu (1981).

A formulação dos cálculos de um bag ou tubo de geossintético preenchido com lodo pressurizado é baseada no equilíbrio de uma casca flexível. Os resultados desta formulação são a força de tensão circunferencial dentro da casca e a geometria cilíndrica do material da casca encapsulada (Leshchinsky e Leshchinsky, 2002).

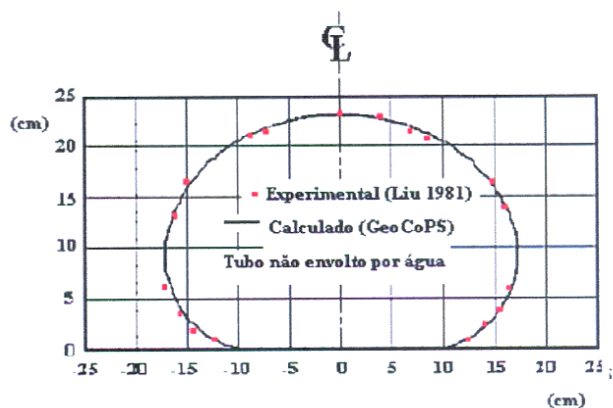


Figura 1 - Pontos medidos experimentalmente ao longo do perímetro (Liu 1981) versus geometria calculada (elipse achatada) pelo programa GeoCoPSTM (Leshchinsky e Leshchinsky 2002)

A figura 2 abaixo de Leshchinsky e Leshchinsky 2002 ilustra o efeito de pressão de enchimento na seção transversal do tubo. Pode-se observar nesta figura que uma pressão de enchimento mais baixa leva a um aproveitamento menor da área disponível, mas reduz sensivelmente as solicitações em tração no geotêxtil, reduzindo os custos do tubo.

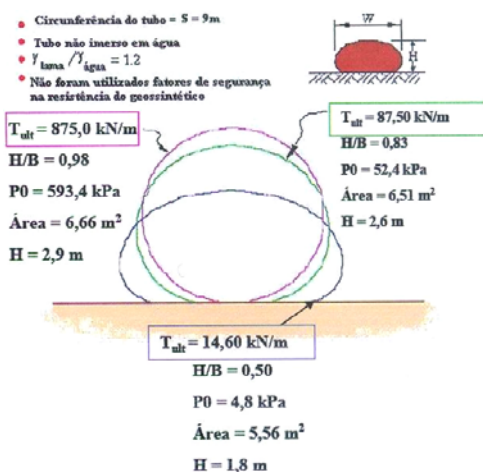


Figura 2 – Efeitos da pressão de enchimento sob a forma do tubo e sobre a solicitação em tração Leshchinsky e Leshchinsky 2002

No tocante ao estudo das tensões, segundo Leshchinsky e Leshchinsky 2002 - GeoCoPSTM quando comentam os efeitos da pressão de enchimento sobre a forma do tubo e sobre a solicitação em tração estes autores destacam que a seção transversal é simétrica tendo uma altura máxima de “H” no eixo central, uma largura máxima de “W” e uma base achatada em contato com o solo de fundação “b”. A pressão de bombeamento é “p₀”. A densidade média da lama é “γ”. Por conseguinte, a pressão hidrostática da lama em qualquer profundidade “x” medida do ponto 0 é expressa pela equação: $p(x) = p_0 + \gamma x$. Através de cálculos diferenciais e rotinas matemáticas complexas, chega-se a solicitação sofrida pelo geotêxtil.

A geometria da casca de geossintético é definida por uma função desconhecida $y = f(x)$. Em um ponto de contato S(x,y) e o raio de curvatura do geossintético é o “r”. O centro desta curvatura é no ponto C(x_c,y_c). Tanto “r” quanto “C” variam com a função y(x). Considerar as forças atuando num comprimento de arco infinitesimal “ds”, do geossintético em S e θ é o ângulo tangente a este comprimento de arco infinitesimal. Uma vez assumido que o problema é bidimensional e que não existem tensões de cisalhamento entre o lodo e o geotêxtil, tem-se que a tensão “T” no geossintético é constante ao longo da circunferência.



Liu, Goh e Silvester citado por Pilarczyk 2000 realizaram ensaios com tubos preenchidos com água e encontraram relações matemáticas para determinar a tração sofrida pelos tubos e a forma do tubo sujeito a diferentes pressões. Este método de cálculo consiste em um procedimento iterativo em que uma altura inicial é arbitrada e calculada em seguida a partir dos resultados retirados das curvas do ábaco até que estes valores tenham convergido a um valor de H . Temos que $b_1 = (p_0 + \gamma_{\text{material}} \cdot H) / \gamma_{\text{água}}$, onde p_0 é a pressão de enchimento e H é a altura do tubo ao final do enchimento. A figura 3 ilustra estas variáveis e a figura 4 mostra o ábaco para estimativa de forma e tração.

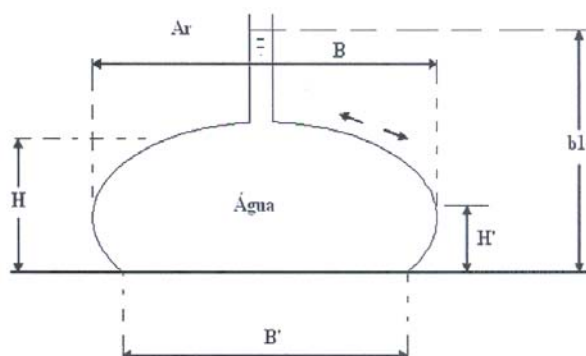


Figura 3 - Esquema de ensaio de Liu, Goh e Silvester (Pilarczyk 2000).

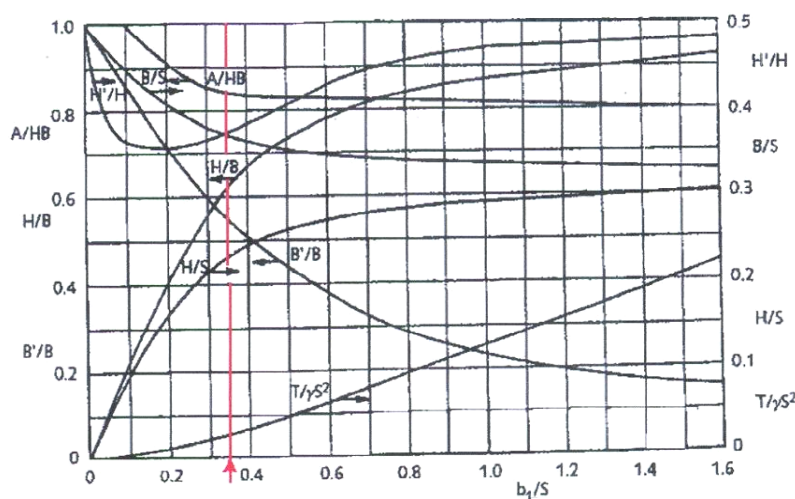


Figura 4 - Ábaco para estimativa de forma e de tração (Pilarczyk 2000)

Kazimierowicz (1994) também propõem formulação empírica bastante simplificada, para determinação da tensão sofrida em um sistema tipo tubular ou bag. As hipóteses assumidas nesta formulação são:

- Existe apenas o estado de tensões da membrana sendo analisado;
- É considerado um estado de deformações planas;
- Não existem forças concentradas atuando;
- O peso próprio da casca é desprezado;
- O tubo é preenchido por material de peso específico conhecido;
- Não existe atrito entre o solo e a base do tubo;

A partir dessas hipóteses foram feitas análises em função da pressão de preenchimento ou “ p_0 ”, em que se considerou três situações: $p_0 \gg \gamma \cdot H$; $p_0 \neq 0$ e $p_0 = 0$, onde “ γ ” é o peso específico do material e “ H ” é a altura do tubo preenchido. Esta análise é mostrada na figura 5.

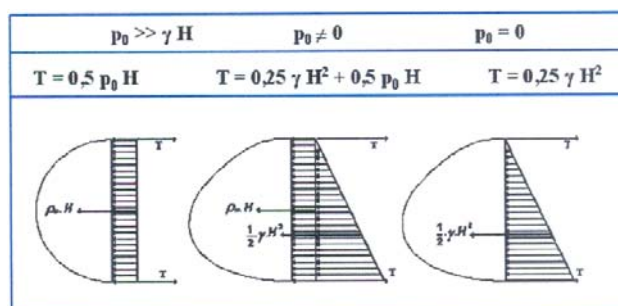


Figura 5 - Análise das tensões pela proposta de Kazimierowicz (1994).

A tabela 1 apresenta uma comparação realizada por Castro (2005) entre os resultados do programa GeoCOPSTM e as propostas indicadas por Liu, Goh e Silvester e Kazimierowicz para o sistema tubular apresentado na figura 2. Pode observar que a proposta de Kazimierowicz prevê solicitações em tração muito próximas as previstas pelo GeoCOPSTM enquanto que Liu, Goh e Silvester se mostraram ligeiramente superiores.

Tabela 1 - Comparação dos valores de tração entre as propostas de Liu, Goh e Silvester (Pilarczyk 2000), Kazimierowicz (1994) e do programa computacional GeoCOPSTM.

P ₀ (kPa)	Tração GeoCOPS TM (kN/m)	Tração Liu, Goh e Silvester (kN/m)	Tração Kazimierowicz (kN/m)
593,4	875,0	NA	860,4
52,4	87,5	95,0	88
4,8	14,6	15,9	13,9

NA: Valor não compreendido no intervalo atendido pela proposta ($0 \leq b/l/S \leq 1,6$).

2 TESTES REALIZADOS COM BAG NACIONAL

O Fabricante do bag nacional, utilizados nos testes realizados na Sanepar apresenta 5 tipos de tecido, sendo todos em material sintético, polimerizados, elaborados com compostos de PP-polipropileno e PEAD-poliétileno de alta densidade, diferenciando-se apenas pela abertura da trama. Estes tecidos são numerados de 0 a 4 e seguem a seguinte ordem, da maior para a menor abertura: (1) (2) (0 ou BC) (4) (3).

O tecido (1) é o de maior abertura, sendo indicado para tratamento de lodos de fecularia, abatedouros de aves, dragagem de fundo de rio entre outros resíduos que contenham sólidos grosseiros, penas, cascas etc. Os tecidos (2) e (0 ou BC) são indicados para lodos do saneamento se diferenciando pela abertura da trama, o que incorre em diferentes velocidades de drenagem. Os tecidos (3) e (4) possuem uma trama mais fechada e são indicados para lodos com sólidos finos como lodos galvânicos.

2.1 TESTE PILOTO ETA IGUAÇU

Os testes em escala piloto foram realizados utilizando lodo de descarga de decantador da Estação de Tratamento de Água – ETA Iguaçu. A fim de verificar qual o tipo de tecido mais apropriado para o desague do lodo desta ETA, antes de realizar os testes em escala piloto foram procedidos testes em escala de bancada os quais foram chamados de testes preliminares. A seguir são apresentados dados e resultados dos testes preliminares e na sequência o mesmo é realizado para os testes em escala piloto.

2.1.1 TESTE PRELIMINAR COM FUNIS

Nos estudos preliminares em escala de bancada, para definição do tipo de tecido que deverá ser utilizado no teste seguinte em escala piloto, foram testados somente os tecidos (2) e (0 ou BC), por motivo já explícito na revisão bibliográfica deste artigo,



MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nos testes preliminares foram: elementos tubulares bag nacional de pequenas dimensões com fechamento inferior costurado em forma de funil, dimensões aproximadas de 50x20cm, um suporte para sustentar os mesmos na posição vertical, béquer graduado e lodo proveniente da descarga de decantador.

O procedimento consistiu em coletar lodo proveniente do decantador 2 da ETA Iguaçu e em seguida retirar uma mostra do mesmo, o que denominou-se amostra de entrada. Depois, foram inseridos 5 litros desse lodo em um funil confeccionado em tecido (0 ou BC). Após o enchimento foram coletados e medidos os volumes de líquido drenado. Após 2 horas de teste, foi coletada uma amostra do lodo desaguado, assim como dados de volume de drenado em função do tempo.

Na sequência, foram novamente efetuados os mesmos procedimentos, porém para uma amostra de lodo do decantador 1 e utilizando funil confeccionado em tecido 2. A Tabela 2 mostra um resumo dos dados de entrada e após duas horas de deságüe. A figura 6 ilustra o procedimento realizado nos testes preliminares. As Tabelas 3 e 4 apresentam os volumes de drenado em função do tempo para os tecidos 0 ou BC e 2 respectivamente.



Figura 6 - Funis utilizados nos testes preliminares.

Tabela 2 - Dados das amostras dos lodos de entrada e após 2 horas de deságüe.

Dados de teor de sólidos e cinzas		%TS	%SF	%SV
Decantador 2 (Tecido BC ou 0)	Lodo de entrada	1,43	60,18	39,82
	Lodo após 2 horas	3,40	67,06	32,94
Decantador 1 (Tecido 2)	Lodo de entrada	1,73	66,99	33,01
	Lodo após 2 horas	4,57	65,71	34,29



Tabela 3 - Dados de volume drenado em função do tempo utilizando tecido 0 ou BC.

Tecido (0 ou BC)		Tecido (0 ou BC)	
Tempo (min)	Vol de drenado (ml)	Tempo (min)	Vol de drenado (ml)
0,5	300	21	1450
1	400	22	1490
2	460	23	1510
3	600	24	1550
4	640	25	1590
5	700	30	1730
6	800	35	1880
7	860	40	1980
8	900	45	2080
9	960	50	2190
10	1000	55	2290
11	1030	60	2390
12	1100	65	2480
13	1180	70	2540
14	1215	75	2620
15	1250	80	2690
16	1290	85	2760
17	1300	90	2820
18	1360	100	3160
19	1380	120	3210
20	1400		

Tabela 4 - Dados de volume drenado em função do tempo utilizando tecido 2.

Tecido (2)		Tecido (2)	
Tempo (min)	Vol de drenado (ml)	Tempo (min)	Vol de drenado (ml)
0,5	280	21	1400
1	400	22	1430
2	510	23	1460
3	600	24	1490
4	680	25	1520
5	700	30	1650
6	800	35	1770
7	880	40	1890
8	910	45	1990
9	970	50	2090
10	1000	55	2190
11	1050	60	2280
12	1100	65	2370
13	1120	70	2460
14	1160	75	2550
15	1200	80	2630
16	1240	85	2710
17	1280	90	2820
18	1310	100	3380
19	1340	120	3900
20	1380		



CONCLUSÕES DOS TESTES PRELIMINARES

O parâmetro para definição de tecido ótimo é aquele que retornar maior volume de clarificado e/ou maior teor de sólidos da torta. Conforme as tabelas 2, 3 e 4, o volume de clarificado após 120 min coletado no tecido 2 foi de 3900ml e o teor de sólidos neste tecido foi de 4,57%, contra 3210ml e 3,4% alcançados no tecido 0 ou BC. Desta forma, foi optado pelo tecido (2) e com este foi realizado o teste em escala piloto.

2.1.2 TESTES EM ESCALA PILOTO

Neste teste foi utilizado o tecido 2 (tecido ótimo segundo teste preliminar com funis) para observar em escala piloto a eficiência de bag nacional em termos de qualidade do percolado e teor de sólidos do lodo contido no bag ou lodo desaguado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos testes em escala piloto, foi preparada uma área com declividade suficiente para escoamento do drenado ou percolado, e nesta instalou-se um bag teste de dimensões 1,2 x 0,6 metros sobre uma camada de brita de aproximadamente 10 centímetros assentada sobre uma lona. No mesmo dia em que foram realizados os testes preliminares, por volta das 18:00 horas, foi dada uma primeira carga de lodo no bag piloto com enchimento total do mesmo. A figura 7 ilustra o procedimento realizado.

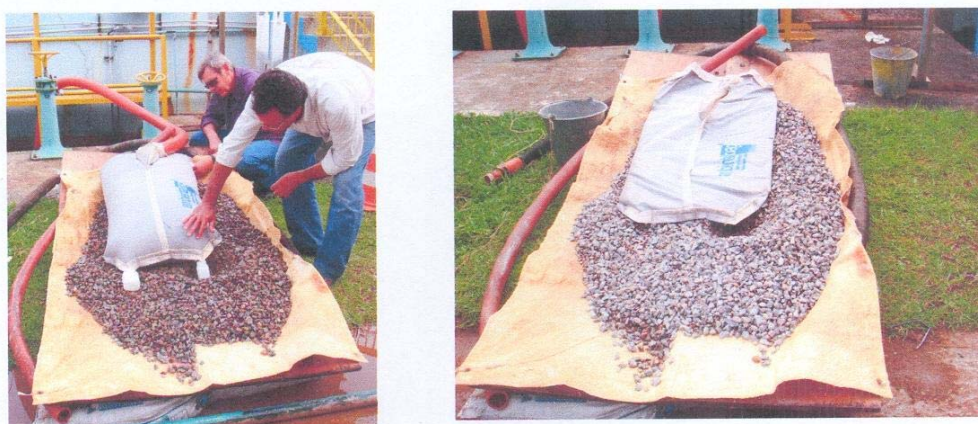


Figura 7 - Testes em escala piloto – Bag após primeiro enchimento e após 14hrs de deságue.

Nesta primeira carga observou-se que, como no teste com os funis, no início do enchimento o percolado apresentou turbidez elevada e após aproximadamente 5 minutos o mesmo clarificou, sugerindo a formação do *Filter Cake* comentado por Leshchinsky 1992 e Gaffney et al 1999 citados em Castro 2005. (Leshchinsky 1992 e Gaffney et al 1999 citados em Castro 2005).

Desta forma, devido ao fato de haver diferenças significativas entre o clarificado inicial (aproximadamente 5 minutos da recarga) e após este período, para caracterização do clarificado, decidiu-se coletar duas amostras, uma referente ao período inicial e outra depois deste (entre 10 e 15 minutos).

As amostras do Clarificado foram analisadas no laboratório da ETA Iguaçu, utilizando turbidímetro de bancada.

Após 14hrs da primeira carga retornou-se à ETA Iguaçu onde observou-se rebaixamento do bag e novo enchimento foi realizado. Desta forma decidiu-se pela realização de recargas com frequência diária. As recargas foram realizadas pela operação da ETA Iguaçu, até que não houvesse, em 24 horas, rebaixamento significativo do bag piloto. Foram possíveis 19 recargas. Após este período foram coletadas amostras do lodo contido para caracterização da evolução do mesmo em relação ao teor de sólidos. A primeira amostra foi coletada após 3 dias de do último enchimento, nas primeiras 4 semanas foram coletadas amostras semanais e a partir do primeiro mês definiu-se pela coleta de amostra mensal.



Devido à falta de homogeneidade do teor de sólidos do lodo contido no bag, definiu-se pela coleta de amostras compostas, ou seja, tomar pequenas amostras em diversos pontos do bag e após mistura das mesmas, compor uma amostra para ser enviada ao laboratório da ETE Atuba Sul, que possui estufa para realização das análises de TS segundo Standard Methods.

Devido à inexistência de um medidor de vazão, não foi possível medir o volume de lodo inserido no bag, mas pode-se estimar seu volume do Bag piloto levantando duas hipóteses.

A primeira hipótese considera que o mesmo tenha seção transversal em forma de elipse. Sabendo que o comprimento do bag é de 1,2 metros, calcula-se o volume do bag:

$$V = 3,14.(L/2).(h/2).C; V = 3,14.(0,6/2).(0,33/2).1,2; V = 0,186\text{m}^3 \text{ ou } 186 \text{ litros}$$

A segunda hipótese aproxima sua área transversal a um retângulo. Dessa forma o volume do bag será:

$$V=Ab.h; V = (0,6.1,2).(0,25); V = 0,180\text{m}^3 = 180 \text{ litros}$$

Dessa forma, conclui-se que o volume estimado do bag esteja em torno de 180 a 186 litros.

A tabela 5 apresenta os dados de qualidade do percolado e a figura 8 apresenta estes dados em forma gráfica. Percebe-se que, na maior parte das recargas, a turbidez do percolado nos primeiros 5 minutos, apresentou valor superior a turbidez do percolado após este período, o valor máximo da turbidez inicial foi de 380 NTU, mínimo de 27,2 NTU e média aritmética de 99,94 NTU. A turbidez do percolado após o período inicial (10 a 15 minutos), apresentou valor máximo de 49,9 NTU, mínimo de 3,12 NTU e média aritmética de 22,51 NTU. Em algumas recargas a turbidez inicial (5 minutos) foi igual ou bastante próxima a turbidez das amostras coletadas entre 10 e 15 minutos. Cabe destacar que o maior valor de turbidez (380 NTU) foi registrado no primeiro enchimento.

Tabela 5 - Qualidade do percolado em 5 min e entre 10 e 15 min para bag piloto

Recarga	Data	Hora	Turbidez (NTU)	
			5 min	10 a 15 min
1	13/02/08	18h00	380,0	35,0
2	14/02/08	08h00	200,0	8,0
3	15/02/08	13h52	27,2	20,8
4	16/02/08	08h00	86,0	6,9
5	16/02/08	18h00	50,4	8,5
6	17/02/08	08h00	215,0	39,0
7	17/02/08	18h00	61,8	17,4
8	18/02/08	09h25	151,0	27,3
9	18/02/08	18h00	86,0	62,0
10	19/02/08	08h00	73,2	34,0
11	19/02/08	18h00	54,9	12,0
12	20/02/08	08h00	62,9	40,9
13	20/02/08	18h00	138,0	37,9
14	21/02/08	08h30	36,7	20,6
15	21/02/08	18h00	48,8	35,9
16	22/02/08	08h00	40,4	5,6
17	22/02/08	18h00	86,1	3,1
18	23/02/08	08h00	44,0	5,7
19	23/02/08	18h00	56,4	6,7

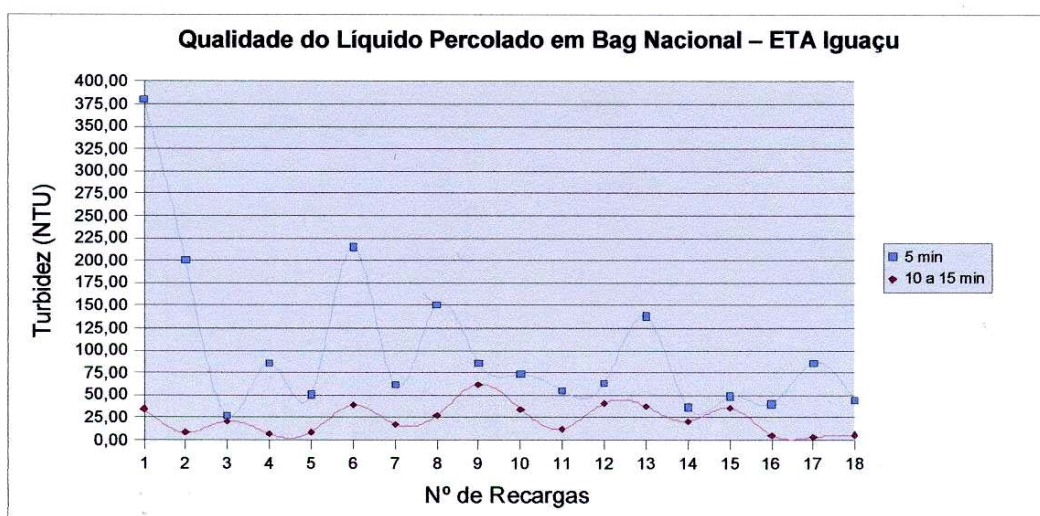


Figura 8 - Gráfico da qualidade do percolado em 5 minutos e entre 10 e 15 minutos para bag piloto.

A tabela 6 apresenta os dados de teor de sólidos e a figura 9 ilustra estes dados em forma gráfica. Pode-se notar, que avanços significativos no teor de sólidos do lodo contido ocorreram até 17 dias de deságüe, quando o TS saltou de 1,5 a 16,22%. Após este período a variação do teor de sólidos diminuiu consideravelmente, mantendo-se próximo ao valor alcançado em 17 dias.

É importante salientar que, o teor de sólidos de 13,88% aos 24 dias deságüe e a variação do teor de sólidos, entre o período de 17 a 65 dias, podem ser explicados devido à não homogeneidade do lodo no bag, que geralmente apresenta lodo mais desaguado na periferia e menos concentrado no núcleo.

Tabela 6 - Evolução do teor de sólidos no bag piloto.

Data	Dias de deságüe	TS (%)
de 12/02 a 23/02	0	1,50
26/02/2008	3	9,49
04/03/2008	10	12,28
11/03/2008	17	16,22
17/03/2008	24	13,88
24/03/2008	31	15,81
29/04/2008	65	16,44

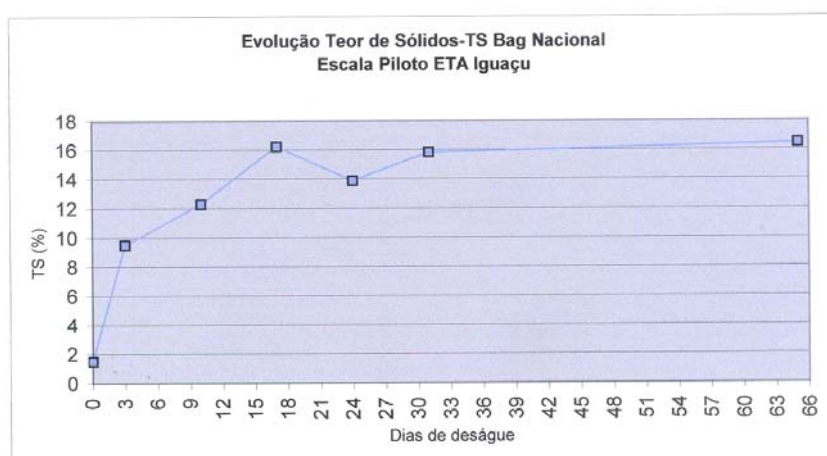


Figura 9 - Gráfico da evolução do teor de sólidos no bag piloto na ETA Iguaçu

CONCLUSÕES DO TESTE EM ESCALA PILOTO

Conclui-se pelo exposto que o percolado apresentou qualidade bastante variável e aquém do esperado, no tocante ao teor de sólidos do lodo contido, os dados coletados revelam que o mesmo atingiu um TS final médio de 16%. Provavelmente a baixa qualidade e a instabilidade do percolado foi decorrente do fato de não ter sido utilizado polímero neste teste.

Conclui-se que os testes realizados em escala piloto não foram conclusivos e para melhor avaliar a eficiência deste bag nacional, decidiu-se pela realização de testes utilizando polímeros em escala real.

Além do exposto, dúvidas em relação à resistência em escala real do tecido proposto pelo bag nacional foram aventadas. Desta forma procedeu-se a estudos em escala real os quais foram realizados na ETA Passaúna.

2.2 TESTE EM ESCALA REAL ETA PASSAÚNA

Uma vez que os testes em escala piloto realizados na ETA Iguaçu, principalmente em relação resistência do tecido e à qualidade do clarificado, não foram conclusivos e tendo em vista uma melhor avaliação da eficiência e resistência em escala real do bag nacional em estudo, decidiu-se pela realização de testes utilizando polímeros em escala real. Para tal definiu-se a ETA Passaúna que possui sistema de adensamento e condicionamento com polímeros. Cabe comentar que na ETA após adensamento e condicionamento os lodos são desaguados via centrifugação, sendo aproveitado o sistema de deságue existente para realização dos testes com o bag nacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nos testes em escala real foram: bag de fabricação nacional de dimensões 3x6m, berço construído em madeira tendo fundo impermeabilizado com lona plástica e camada drenante tipo colchão de brita de 10cm de altura, linha para demarcação da altura máxima de enchimento, bomba de deslocamento positivo para enchimento do bag, bomba diafragma para dosagem de solução de polímeros e lodo proveniente da descarga de decantador adensado. A figura 10 mostra o bag implantado na ETA Passaúna.



Figura 10 - Teste em escala real realizado na ETA Passaúna

O teste em escala real foi iniciado em 22 de agosto. Devido ao fato da ETA Passaúna tratar águas provenientes de uma represa, que aporta sólidos finos ao tratamento, o tecido escolhido foi o (0 ou BC). Segundo informações do fabricante o bag instalado, de dimensões 3x 6m em planta, pode receber lodo até uma altura de 20% de sua largura, ou seja 0,6m.

O procedimento consistiu em coletar lodo proveniente do adensador de lodos da ETA Passaúna, utilizando as bombas de deslocamento positivo existentes, que normalmente encaminham lodo adensado para a centrífuga, para enchimento do bag. O lodo era recalcado até que o bag atingisse a altura de 60cm em relação ao topo do piso de brita, para auxiliar neste procedimento foi fixada uma linha. Novamente nesta fase decidiu-se pela



execução de recargas diárias, devendo ser executadas recargas até que, de um dia para outro, não fosse observado rebaixamento significativo do bag. Para coleta do lodo e caracterização da evolução do teor de sólidos, decidiu-se pela coleta de amostra composta utilizando teco de tubo DN 50mm de 80cm de comprimento. Este teco de tubo era inserido até o fundo do Bag coletando uma amostra de todo o perfil do mesmo (superfície e núcleo) e desta era composta uma amostra de menor volume para ser enviada ao laboratório para análise.

Neste teste foram monitorados diversos parâmetros da fase de enchimento tais como dia da recarga, hora de início e término da mesma, dosagem de coagulante praticado neste dia na ETA, altura do Bag antes e após recarga, vazão e concentração do lodo de entrada, vazão e concentração da solução de polímeros, dados de cor, turbidez e pH do clarificado e consumo de polímero. Durante a fase de deságue ou consolidação foram coletados dados da evolução do teor de sólidos - TS no lodo contido.

RESULTADOS E CONCLUSÕES DOS TESTES EM ESCALA REAL

Na primeira carga, utilizando polímero catiônico de média carga, observou-se que, apenas no início e em uma região concentrada na entrada (bocal), houve percolação de um drenado de baixa qualidade com visível carga sólida, sendo que o líquido drenado fora desta região, apresentou 4,3 NTU de turbidez e 12,5 UH de cor.

Foi possível realizar 14 recargas, sendo quebrada a regra de recarga diária apenas na última recarga, onde se esperou do dia 3 até o dia 15 de setembro (intervalo de 12 dias), para que houvesse rebaixamento de 5 cm para realizar a última recarga. Após este período o rebaixamento passou a ser insignificante e decidiu-se pela parada das recargas.

Os dados de qualidade do clarificado ou percolado, apresentados na tabela 7, mostram que a turbidez do mesmo apresentou valor máximo de 4,3 (primeira carga), média de 1,8 e mínimo de 1,1 NTU. A cor do percolado, apresentou valor máximo de 12,3, mínima de 5 e média aritmética de 9,5 UH. Cabe destacar que o lodo adensado ou de entrada apresentou concentração de sólidos média de 0,42 valor extremamente baixo demonstrando mau funcionamento do sistema de adensamento existente. A tabela 7 apresenta os dados coletados para a fase de enchimento. A figura 11 apresenta os dados de clarificado em forma gráfica.

Tabela 7 – Dados da fase de enchimento bag escala em escala real na ETA Passaúna.

Data	Horário enchimento		Altura (do BAG até a linha superior).		Vazão de lodo	Dosagem de Coagulante usado na ETA (PAC)	Vazão de polímero	Conc. da solução de polímero	Lodo de Entrada	Percolado ou Clarificado			Consumo de polímero
	Início	Término	Antes	Depois						ST	Cor	Turb.	
	(hh:mm)	(hh:mm)	(cm)	(cm)	(m3/h)	(ppm)	(L/h)	(%)	(%)	(uH)	(NTU)	-	Kg pol/ Ton SS
22/ago	15:05	16:22	60	0	8,5	7,5	50	0,3	0,39	12,5	4,3	7,2	4,52
23/ago	08:20	08:55	50	2	8,3	7,5	50	0,3	0,55	12,5	2,8	7,1	3,29
24/ago	08:30	09:00	30	2	8,5	7,0	48	0,3	0,45	10,0	1,4	7,1	3,76
25/ago	07:45	08:30	30	1	8,2	7,0	48	0,3	0,47	10,0	1,7	7,2	3,74
26/ago	08:00	09:00	31	2	8,5	7,0	30	0,3	0,17	10,0	1,7	7,2	6,23
27/ago	10:00	10:30	35	0	8,5	7,5	40	0,3	0,20	10,0	1,2	7,0	7,06
28/ago	08:35	09:05	15	0	8,4	6,3	60	0,3	0,56	10,0	1,7	7,2	3,83
29/ago	09:30	09:55	10	0	8,5	7,0	50	0,3	0,45	10,0	1,7	7,3	3,92
30/ago	07:10	07:30	14	2	8,6	7,0	40	0,3	0,50	10,0	1,7	7,5	2,79
31/ago	07:05	07:28	16	0	8,5	7,0	40	0,3	0,50	10,0	1,8	7,5	2,82
1/set	07:15	07:25	12	0	8,5	5,5	40	0,3	0,44	10,0	1,6	7,4	3,21
2/set	07:30	07:50	13,5	0	8,5	5,0	40	0,3	0,41	5,0	1,1	7,7	3,44
3/set	08:45	09:00	14,5	0	8,6	6,7	40	0,3	0,36	5,0	1,2	7,2	3,88
15/set	09:30	09:40	5,0	0	8,5	5,5	40	0,3	0,45	5,0	1,2	7,5	3,14
			MÉDIA		8,5	6,7	63	0,3	0,42	9,3	1,8	-	3,97
			MÁXIMO		8,6	7,5	78	0,3	0,56	12,5	4,3	-	7,06
			MÍNIMO		8,2	5	55	0,3	0,17	5	1,1	-	2,79



Após cessadas as recargas iniciou-se a coleta de amostras para caracterização da evolução do teor de sólidos do lodo contido. A figura 12 apresenta os resultados da eficiência de deságue em termos de teor de sólidos-TS. Pode-se notar que, como no teste em escala piloto, avanços significativos no teor de sólidos do lodo contido ocorreram até 15 dias de deságue, quando o TS saltou de 0,42% (média do lodo de entrada) para 5,85%. Após este período a variação do teor de sólidos diminuiu consideravelmente, mantendo o teor de sólidos próximo ao valor alcançado aos 15 dias.

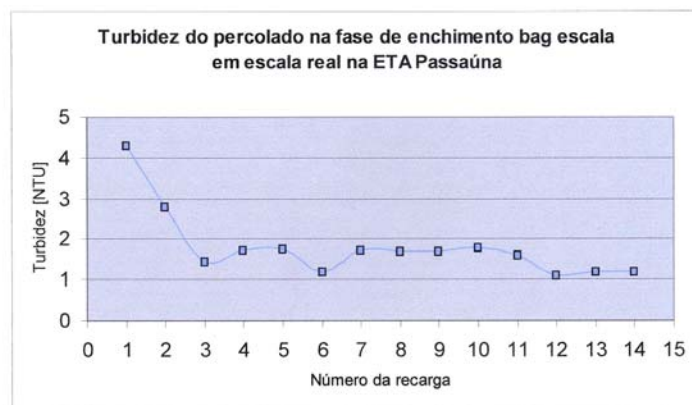


Figura 11 - Gráfico da qualidade do percolato em bag escala real ETA Passaúna

Tabela 8 - Evolução do teor de sólidos no bag em escala real ETA Passaúna

Data	Dias de deságue	ST ou TS (%)	SF	SV
16/09	1	4,69	63,11	36,89
17/09	2	7,57	58,12	41,74
18/09	3	4,68	64,74	41,67
19/09	4	4,85	60,00	40,00
20/09	5	5,07	61,74	38,26
21/09	6	4,44	60,81	39,19
22/09	7	5,18	61,58	38,42
23/09	8	5,50	60,73	39,27
30/09	15	5,85	61,20	38,80
07/10	22	5,96	51,17	48,66
14/10	29	5,84	64,04	35,96
22/10	36	5,94	61,78	38,22
29/10	43	5,94	61,95	38,05
MÉDIA		5,50	60,84	39,63
MÁXIMO		7,57	64,74	48,66
MINIMO		4,44	51,17	35,96



Figura 12 Evolução do teor de sólidos no bag em escala real na ETA Passaúna

Visualmente não se percebeu diferença significativa do teor de sólidos, entre a região superficial e o núcleo do bag. Provavelmente isso aconteceu devido à reduzida altura da camada de lodo. Todavia para composição das amostras a serem analisadas em relação a evolução do teor de sólidos foi procedido ao preconizado nos métodos e tomou-se parcelas da superfície e meio.

Cabe salientar que, o teor de sólidos de 7,6% apresentado no segundo dia de deságüe, provavelmente ocorreu devido a um equívoco na coleta ou no acondicionamento da amostra. Vale destacar também que aos 5 dias de deságüe o lodo contido já havia rachado como ocorre em um leito de secagem, o que pôde ser visualizado devido a relativa transparência do bag nacional em avaliação.

CONCLUSÕES DOS TESTES EM ESCALA PILOTO E REAL

Após realização dos testes, conclui-se que o bag nacional testado apresentou desempenho satisfatório para o deságüe dos lodos da ETA Iguaçu, onde o TS atingido aos 17 dias de deságüe foi de 16,22%. A baixa qualidade do clarificado foi decorrente da não utilização de polímeros e agravado devido à elevada vazão gerada pela descarga do decantador desta ETA, que provocava forte choque do lodo com as paredes do bag.

Para a ETA Passaúna, apesar do baixo TS atingido (5,85% aos 15 dias), considera-se que o mesmo apresentou desempenho satisfatório, uma vez que a eficiência de deságüe deste mesmo lodo em centrífuga e até mesmo em bags normalmente utilizados para deságüe de lodos no Brasil também resulta em baixo TS, revelando que provavelmente, o baixo teor de sólidos atingido é uma decorrência das características do lodo da ETA Passaúna, que tem baixa drenabilidade sendo dificultoso seu deságüe. Cabe destacar que neste teste a qualidade do clarificado foi elevada, sendo provavelmente uma decorrência da utilização de polímero aliado ao fato de que no teste em escala real, as dimensões do bag eram maiores que no piloto da ETA Iguaçu e a vazões de enchimento eram menos, não ocorrendo o choque direto do lodo com o tecido do bag.

No tocante à resistência mecânica, o bag nacional testado em escala real apresentou estabilidade e resistência compatível com as tensões decorrentes do enchimento, fase em que o bag sofre as maiores solicitações, permitindo até mesmo o trânsito de pessoas sobre o mesmo. Na coleta de amostras, quando o tecido era rasgado não ocorreu propagação da fissura aberta. Neste tema cabe destacar ainda que, devido ao fato do bag, trabalhar com altura reduzida, o sistema trabalha com solicitação reduzida sendo compatível com a resistência apresentada pelo tecido.

Todavia, na concepção de um projeto de engenharia prevendo a utilizando deste bag nacional, devido as menores alturas de trabalho do mesmo, a área necessária para deságüe de lodos poderá ser superior àquela necessária à utilização de outras bolsas de deságüe disponíveis no mercado, uma vez que a altura máxima de enchimento de bag nacional é reduzido em relação aquela que pode ser alcançada por outros sistemas tipo bolsa para deságüe.



Destaca-se por fim que as informações coletadas até o momento permitem concluir que o bag nacional é adequado para o deságüe de lodos produzidos em ETAs, em termos de resistência mecânica para as alturas propostas e qualidade de percolado. No que se refere a eficiência de deságüe, sabe-se que cada lodo resultará em eficiências distintas, sendo que para os lodos produzidos nas ETAs Passaúna e Iguaçu o bag nacional apresentou desempenho equivalente a outros sistemas tipo bolsa disponíveis no mercado. Conclui-se também que o deságüe sem a utilização de polímeros é possível, mas há prejuízo à qualidade do clarificado o que leva a necessidade de revisão criteriosa quanto ao seu destino.

AGRADECIMENTO

As autoras deste artigo gostariam de agradecer aos colaboradores da Sanepar: Ana Letícia Bauer; Angélica de Lima de Araujo; Ovande José Magalhães; Renato Afonso Kleina e demais colaboradores da Sanepar que executaram as recargas dos bags, as análises dos clarificados nos laboratórios da ETAs Iguaçu e Passaúna assim como a coleta de lodo e o envio de amostras ao laboratório da ETE Atuba Sul. Agradecemos por fim ao fabricante do bag nacional pelo fornecimento de material para a pesquisa, instruções e acompanhamento dos testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CASTRO, N.**, Sistemas tubulares para contenção de lodos e sedimentos contaminados, 2005. Tese de Mestrado-Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA. São José dos Campos.
2. **FWLER, J., DUKE, M., SCHIMIDT, M. L., CRABTREE, B., BAGBBY, R. M., e TRAINER, E.** Dewateringsewage sludge and hazardous sludget with geotextiles tubes. Geosynthetics – 7th International Conference on Geotextile, Geomembrane and Related Products, 2002, Nice Anais.
3. **KAZIMIEROWICZ, K.** Simple Analysis of Deformation of Sand-Sausages. In (1994) 5th International Conference on Geotextile, Geomembrane and Related Products, 2002, Singapore Anais.
4. **LESHCHINSKY, D., e LESHCHINSKY O. ADAMA.** Engeneering, Incorp, GeoCops (2.0) Supplemental Notes, 2002.
5. **PILARCZYK, K. W.** Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engeneering. ISBN-(2000) Balkema.