

Desidratação dos Rejeitos Provenientes da Mineração através de Tubos Geotêxteis

Wladimir Caressato Junior

Tecnologia de Materiais Brasil Ltda., Campinas, Brasil, wladimircaressato@hotmail.com

Carlos Antônio Centurión Panta

Tecnologia de Materiais Brasil Ltda., Campinas, Brasil, ccenturion@tdmbrasil.com.br

Rodrigo Custódio Urban

Docente orientador de TCC da PUC-Campinas, Campinas, Brasil, rodrigo.urban@puc-campinas.edu.br

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo demonstrar as etapas do dimensionamento de um sistema de desidratação de rejeitos através da utilização de tubos geotêxteis. Para isso é necessária a determinação do tipo de geotêxtil a ser utilizado para potencializar o processo de desidratação dos diferentes tipos de rejeitos produzidos pela indústria da mineração. Para determinação da eficiência do sistema existem alguns tipos de ensaio potencialmente realizados, como o *Jar Test*, *Cone Test*, *Haging Bag Test* e o *Pressurized Pillow Bag Test*. Para este estudo foram realizados o *Cone Test* e o *Hanging Bag Test*. Foram analisados dois cenários, um com a presença de um auxiliar de floculação e um segundo sem a presença do mesmo. Com os resultados dos ensaios foram obtidos os melhores auxiliares de floculação a serem utilizados e a porcentagem de sólidos retidos de cada tipo de rejeito. O cenário com a presença do auxiliar de floculação apresentou melhores resultados, com uma maior retenção de sólidos além de uma menor turbidez no percolado final. Determinado os tipos de geotêxteis, foram realizados os cálculos para o dimensionamento do sistema de desidratação. Através do software GEOCOPS foram calculadas as dimensões finais do tubo geotêxtil. Foram obtidos resultados bastante satisfatórios, e por isso indicadas inúmeras utilizações para esse processo, como a redução do volume de armazenamento das barragens de rejeitos, funções estruturais, entre outros. No entanto, uma das utilizações que pode gerar benefícios, principalmente ambientais, é a possibilidade desse percolado ser destinado a uma estação de tratamento de efluentes e futuramente ser lançado em corpos receptores, sem o risco de contaminação do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Tubos Geotêxteis, Desidratação, Rejeitos da Mineração.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das principais preocupações da humanidade está voltada para a poluição e preservação do meio ambiente. Com o constante desenvolvimento da civilização, acaba-se gerando cada vez mais resíduos.

O setor da mineração é um dos principais autores desse processo, devido às grandes quantidades de rejeitos produzidos pelas mineradoras. Um dos principais problemas das mineradoras é onde e como armazenar o rejeito,

devido aos possíveis impactos ambientais causados por esse material, além da necessidade de cumprirem com a legislação ambiental. As leis ambientais buscam limitar e encarecer os processos de expansão e disposição dos rejeitos, o que leva as mineradoras a procurarem novas soluções para minimizar esses impactos e os custos associados.

Um método que apresenta um grande potencial de aplicação é a desidratação dos rejeitos através dos tubos geotêxteis. Esse processo, além de reduzir o espaço final de

armazenamento, possui outras possibilidades de utilização e contribui com a preservação ambiental.

Embora seja uma técnica amplamente difundida no exterior, no Brasil ainda não é muito conhecida. Por tanto, o presente trabalho busca descrever as diferentes etapas seguidas na implantação desse sistema em uma importante mineradora no Brasil, com o intuito de gerar um guia para a seleção do tipo de tubo geotêxtil mais adequado, de acordo com o tipo de rejeito em cada projeto.

2 REJEITOS DA MINERAÇÃO

Segundo Martins e Vidal (2006) os rejeitos da mineração são materiais gerados nos processos de beneficiamento e concentração de uma mineradora, os quais não apresentam nenhum interesse comercial, no entanto precisam ser dispostos. As suas características granulométricas dependem exclusivamente do tipo de mineral a ser explorado (nióbio, ouro, ferro, etc.) e do processo industrial que está sendo submetido, podendo abranger uma ampla gama de materiais, desde arenosos não plásticos até solos de granulometria muito fina. Esses rejeitos podem ser inertes ou não inertes, dependendo do processo industrial.

2.1 Desaguamento do Rejeito

Um dos métodos mais utilizados é o armazenamento dessas enormes quantidades de resíduos produzidas diariamente em enormes lagoas, denominadas barragens de rejeitos.

Essas barragens, no caso de armazenarem resíduos tóxicos, necessitam da realização de processos específicos de impermeabilização. Esse processo normalmente é realizado utilizando geossintéticos, principalmente as geomembranas. A figura 1 apresenta um exemplo de uma barragem de rejeitos em operação.

Mesmo sendo a solução mais econômica em termos construtivos, esse processo de armazenamento possui um grande impasse: a constante necessidade de ampliações nas barragens. Esse fato que impõe que as empresas desapropriem grandes áreas, o que nem sempre é

possível, devido a mineradora não ter a posse dessas áreas ou por esbarrar nas leis ambientais que protegem as matas nativas.



Figura 1. Barragem de Rejeitos.
Fonte: Busch (2015).

Com o intuito de reduzir o volume a ser armazenado, os materiais atualmente procurados são os tubos geotêxteis, devido a sua grande capacidade dreno filtrante. Com isso, é possível diminuir as áreas a serem desapropriadas, que normalmente são superficiais, reduzindo também o desmatamento das regiões próximas. A figura 2 a seguir demonstra essa estrutura.



Figura 2. Estrutura do sistema de tubos geotêxteis.
Fonte: Lundin et. al. (2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta das Amostras

Foram coletadas 4 tipos de amostras de rejeitos para o presente trabalho, sendo identificadas como: rejeito lama, rejeito nióbio, rejeito geral e o rejeito sílica, sendo que cada tipo de rejeito foi coletado em diferentes etapas do beneficiamento do minério que é realizada na mineradora de estudo.

Teve-se especial cuidado no recolhimento

das amostras, sendo elas coletadas imediatamente após serem lançadas para seu local de descarte, no caso as barragens de rejeitos, para evitar qualquer possibilidade de sedimentação, alterando assim a sua composição para a execução dos testes.

Foram coletados cerca de 100 kg de rejeitos da mineradora em estudo para a realização dos ensaios. A seguir na figura 3 podemos observar os galões com seus respectivos rejeitos identificados a cima.



Figura 3. Amostras dos Rejeitos.
Fonte: Caressato, W. (2015).

3.2 Geotêxteis

A determinação do tipo de geotêxtil ocorre em função do método de desidratação a ser utilizado. Se o processo for realizado com a presença de um auxiliar de floculação, devido seu potencial aglutinante, o geotêxtil pode ser um tecido de camada simples. Na ausência do auxiliar, devido as partículas não estarem fluculadas é recomendado utilizar um geotêxtil de camada dupla, sendo uma camada de um geotêxtil um tecido e uma camada de um não tecido.

Para a realização dos ensaios, o fabricante forneceu dois tipos de amostras de tubos geotêxtil. Uma amostra apresentava apenas uma camada composta por um geotêxtil tecido, a outra possuía uma camada dupla, composta por um geotêxtil tecido com um geotêxtil não tecido aderido em uma das faces. Na figura 4 é apresentada uma amostra de cada tipo de geotêxtil utilizado no projeto.



Figura 4. Geotêxtil de dupla camada (à esquerda) e Geotêxtil de camada simples (à direita).
Fonte: Caressato, W. (2015).

Por serem duas amostras diferentes foram realizados dois cenários de estudo. A amostra com dupla camada foi utilizada em um primeiro cenário (sem o uso do auxiliar de floculação), pois devido a essa camada extra, a amostra tem uma permissividade menor e consegue reter sólidos mais finos. A amostra com apenas uma camada foi utilizada em um segundo cenário (com o uso do auxiliar de floculação), pois na ausência da segunda camada de geotêxtil não tecido a permissividade da amostra é maior, facilitando assim a passagem dos sólidos, por esse motivo foi utilizado um polímero floculante, que ao entrar em contato com as partículas sólidas do rejeito auxilia na sua aglutinação, resultando em flocos de maior diâmetro e consequentemente otimizando a retenção de partículas.

3.3 Cone Test

O *Cone Test* é um ensaio simples e econômico utilizado como ponto de partida para determinar o tipo de tecido a utilizar (geotêxtil tecido + não tecido ou simplesmente tecido) e adicionalmente realizado para determinar a necessidade ou não da utilização de auxiliares de floculação no processo de desidratação.

Esse teste consiste em coletar uma amostra de rejeito de aproximadamente 500 ml e derrama-la instantaneamente em um cone feito com panos de geotêxtil de aproximadamente 30cm x 30cm, posicionado sobre um béquero graduado, como mostra a figura 5. Se essa amostra dessecar em menos de 120 segundos e o percolado líquido estiver límpido (1% ou menos de sólidos passantes) pode adotar este método sem a necessidade da utilização de auxiliares de floculação. Caso o percolado não possua um

líquido límpido (mais de 1% de sólido em sua composição) ou o material (sólidos retidos) estiver úmido, será necessário realizar algum tratamento químico para que o sistema obtenha um melhor desempenho. (VERTEMATTI, 2015).



Figura 5. Ensaio Cone Test.
Fonte: Caressato, W. (2015).

Identificada a necessidade de floculante, é utilizado o método *Jar Test* (ASTM D2035-08) para determinar qual tipo e quantidade de floculante a ser utilizado em cada tipo de rejeito a ser desidratado.

3.4 Auxiliadores de floculação

Com o auxílio de um laboratório especializado foi realizado o *Jar Test* (Figura 6) para determinar qual seria o melhor floculante e em qual proporção a ser utilizado para cada tipo de rejeito. Foram determinados a utilização de dois tipos de auxiliares de floculação para criar o segundo cenário para as amostras a partir dos resultados obtidos.

Conforme as características dos rejeitos, e por meio e tentativa e erro na proporção dos floculantes, foi determinado usar um auxiliar tipo polímero aniônico para as amostras 1 (rejeito geral), 3 (sílica) e 4 (nióbio) e um polímero catiônico para a amostra 2 (lama).

Ambos auxiliares de floculação selecionados para trabalhar com os rejeitos desse projeto, possuem um peso molecular ultra elevado fornecidos na forma de um pó granular, além de serem completamente solúveis em água, produzindo assim soluções com alta viscosidade,

podendo ser aplicados em uma grande variedade de operações, sendo recomendados para uso como coagulante na clarificação primária. Como principais benefícios apontados pelos fabricantes destacam-se: as condições estáveis para a obtenção de um máximo de sólidos na torta seca e rendimento no processo de desidratação, economia de energia nas operações devido a melhor drenagem por gravidade e sob pressão, redução dos sólidos no efluente, melhorando o rendimento e a eficácia na retenção total de sólidos, melhora na eficácia da clarificação em sistemas de tratamento de efluentes primários, secundários e terciários e ausência de componentes surfactantes que prejudicam o meio ambiente. (IWT, 2015)

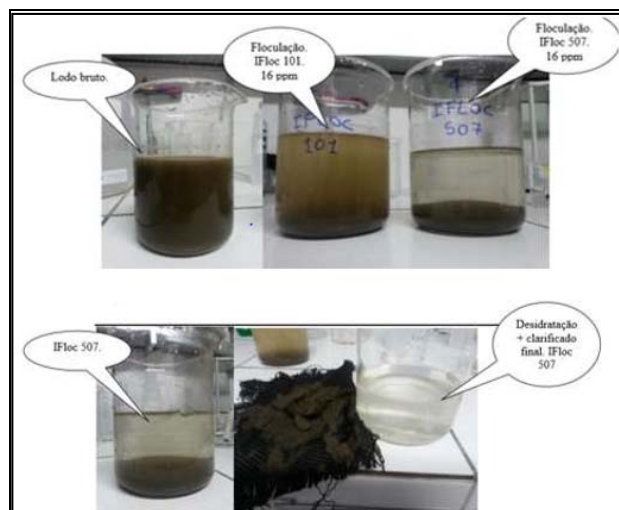


Figura 6. Ensaio para a determinação do auxiliar de floculação.

Fonte: Relatório Técnico IWT (2015).

Para se obter resultados mais expressivos, segundo relatório técnico IWT (2015), foi definido diluir 2,0 kg de auxiliar para cada m³ de água pura. Feita essa diluição, misturou-se com o rejeito em questão seguindo as seguintes proporções:

- Rejeito Geral – 2,5 L/m³ de rejeito;
- Rejeito Lama – 22,5 L/m³ de rejeito;
- Rejeito Sílica – 5,0 L/m³ de rejeito;
- Rejeito Nióbio – 8,0 L/m³ de rejeito;

3.5 Hanging Bag Test

Identificado o tipo de tecido e dosagens de floculante para cada tipo de rejeito, o seguinte passo é realizar o *Hanging Bag Test*. Esse teste é

utilizado para demonstrar a eficácia do geotêxtil no processo de desidratação, para determinar a quantidade de rejeito filtrado através do geotêxtil, o tempo de drenagem e a turbidez do percolado. (ASTM, 2011)

O ensaio é baseado na ASTM D 7701-11: “Standard Test Method for Determining the Flow Rate of Water and Suspended Solids from a Geotextile Bag” e consiste em pendurar uma amostra do tipo de geotêxtil selecionado, em forma de bolsa com as seguintes dimensões: 1,65m x 0,76m. Essa bolsa é pendurada em um suporte metálico, com capacidade para suportar até 250 quilos, com a abertura para cima e é colocada na parte inferior um recipiente para coletar o material filtrado, conforme apresentado na figura 7.



Figura 7. Ensaio Hanging Bag Test
Fonte: TDM BRASIL (2015).

O rejeito, sem ou com auxiliar de floculação, diluído e devidamente dosificado, é colocado no interior da bolsa. Durante 24 horas, o rejeito percolado é coletado e pesado em períodos de tempo pré-determinados, conforme ASTM D7701, para determinar o volume do fluido filtrado, a taxa de filtração, a turbidez do efluente e o peso do rejeito contido pelo geotêxtil.

3.6 Pressurized Pillow Bag Test

O P-PBT (Pressurized Pillow Bag Test) é um método semelhante ao *Hanging Bag Test*, no

entanto a diferença mais notável entre ambos é que o P-PBT é realizado sob pressão, ao contrário do *Hanging Bag Test* que é realizado pela força da gravidade.

Com o rejeito ou a solução (no caso do uso de auxiliares de floculação) devidamente homogenizados, através de uma bomba hidráulica que simulará as condições de campo, o material em estudo é conduzido até o interior da “bolsa” de geotêxtil para que se inicie a desidratação. Quando a “bolsa” estiver praticamente cheia deve-se parar o bombeamento até que parte do líquido presente seja extravasado pelos poros do geotêxtil, voltando assim a se bombear o material para dentro da “bolsa”, repetindo esse processo sucessivamente até que o volume bombeado seja pequeno. A figura 8 apresenta a ciclagem de preenchimento ao longo do tempo.

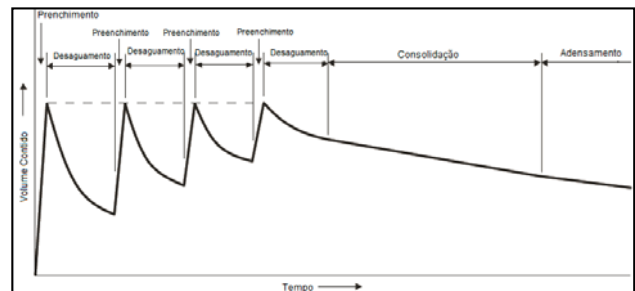


Figura 8. Ciclos de preenchimento x tempo
Fonte: Vertematti (2015).

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS

A partir dos resultados obtidos em laboratório pelo ensaio do *Cone Test*, foram definidos a porcentagem de sólidos, a umidade inicial e a umidade final dos 4 tipos de rejeitos em ambos os cenários (1 e 2). A tabela 1 apresenta os resultados do ensaio

Tabela 1. Resultados Cone Test

Rejeitos	% sólidos	Umidade Inicial	Umidade Final	
			Sem Auxiliar	Com Auxiliar
Niôbio	31%	69%	42%	23%
Lama	26%	74%	44%	21%
Silica	44%	56%	35%	25%
Geral	13%	87%	51%	18%

Com esses resultados foi possível realizar o *Hanging Bag Test* e determinar a porcentagem

de material que fica retido no interior dos tubos, assim como a massa de sólidos que cada cenário conseguiu reter. Na tabela 2 é possível observar os resultados obtidos

Tabela 2. Resultados Haging Bag Test

Rejeitos	Material Retido (%)		Peso dos Sólidos Retidos (Kg)	
	Sem Auxiliar	Com Auxiliar	Sem Auxiliar	Com Auxiliar
Niôbio	22%	38%	2,99	6,90
Lama	16%	31%	2,34	6,23
Silica	39%	56%	6,85	11,30
Geral	4%	13%	0,42	2,30

Com base nessa análise e comparando os resultados, observamos que há uma maior retenção de resíduos com a presença do auxiliar de floculação, assim como uma maior retenção de sólidos, o que conseqüentemente gera um efluente mais clarificado e menor percentual de sólidos.

5 CÁLCULOS E DIMENSIONAMENTO

Definido o tipo de tecido a ser utilizado, o seguinte passo é determinar as suas dimensões e propriedades mecânicas a serem utilizados no processo de desidratação.

Para esses cálculos existem diversas metodologias, propostas por autores como Kazimierowicz (1994), Leshchinsky (1996), entre outros. A figura 9 apresenta a metodologia proposta por Kazimierowicz, onde é considerada a pressão interna do tubo como ponto de partida para o dimensionamento.

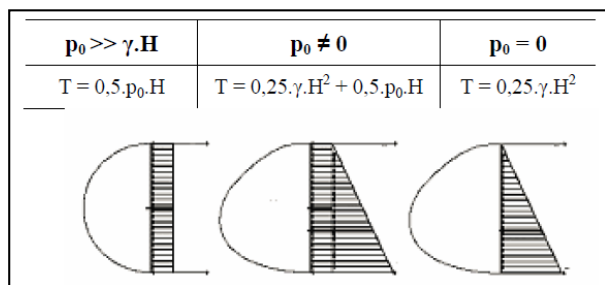


Figura 9. Análise de tensões.
Fonte: Kazimierowicz (1994)

Através do software GEOCOPS (*Geosynthetic Confined Pressurized Slurry*) que utiliza a metodologia proposta por Leshchinsky (1994), é possível determinar os esforços internos máximos admissíveis, dentro dos

fatores de segurança recomendados para este tipo de aplicação, assim como as dimensões finais e a capacidade de armazenamento do tubo geotêxtil, baseados nos resultados de retenção de sólidos obtidos nos ensaios (Cone Test e *Haging Bag Test*). Porém estes cálculos são teóricos e conservadores, devido aos vários coeficientes de segurança que estão embutidos no processo de cálculo, um dos fatores limitantes do sistema é a resistência à tração do geotêxtil. Por isso é necessário ajustar esse dimensionamento considerando as condições atuais do rejeito, número de bombeamentos, clima local, entre outros.

Devido aos vários coeficientes de segurança que estão embutidos no processo de cálculo, um dos fatores limitantes do sistema é a resistência à tração do geotêxtil.

A figura 10 apresenta um dimensionamento feito através do software GEOCOPS e alguns fatores que são obtidos.

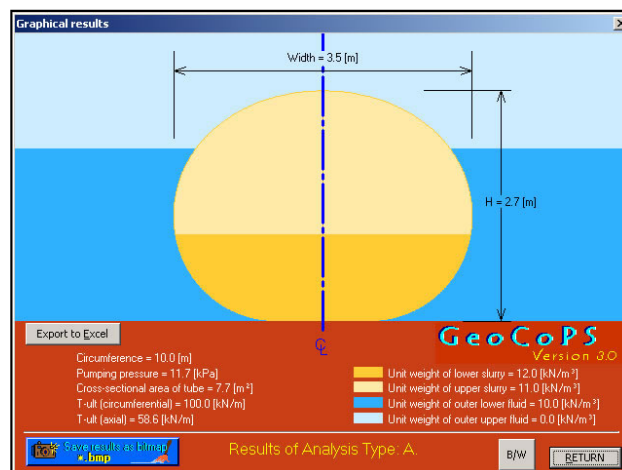


Figura 10. Dimencionamento através do software GeoCops.

Fonte: www.geoprograms.com/geocopsscreens.htm

Para se obter um maior aproveitamento de espaço, os tubos geotêxteis podem ser superpostos um sobre o outro. Porém com a superposição dos mesmos são necessários cálculos adicionais de estabilidade global do sistema e de recalques, devido a superfície dos tubos serem lisas, havendo assim a necessidade de preparo da superfície em que os tubos serão armazenados. Geralmente é recomendado fazer no máximo 3 camadas de tubos superpostos, no entanto esse fator dependerá do tamanho do tubo geotêxtil e das propriedades do rejeito

armazeado.

Essa superfície em que os tubos serão depositados pode apresentar pequenas declividades de no máximo 1%, para que assim o percolado possa ser coletado através de um sistema de drenagem. Geralmente essa superfície é cercada por taludes em todo o seu perímetro e feito um sistema de impermeabilização em toda a sua área, para que se possa coletar todo filtrado sem haver perda de material, caso ele seja absorvido pelo solo local. A realização de um sistema de drenagem sob a camada impermeabilizante permite a rápida e eficiente remoção do percolado (LUNDIN et. al., 2006).

Na figura 11 podemos ver o sistema com a superposição de 2 tubos geotêxteis.



Figura 11. Superposição dos tubos geotêxteis.
Fonte: Lundin et. al. (2006).

Segundo Lundin et. al. (2006), a utilização de um vibrador de areia durante o processo de bombeamento do rejeito reduz o tempo e número de vezes que cada tubo precisa desidratar para que se possa bombear o rejeito novamente, aumentando assim o carregamento de sólidos por metro linear.

Depois de aplicada a metodologia mencionada acima, na pesquisa realizada na mineradora em estudo, foi possível obter uma altura máxima de 2,00 metros, devido à superposição dos tubos e a resistência a tração oferecida pelo material.

Fazendo uma projeção para os próximos 10 anos, com um valor estimado de volume de rejeito produzido pela mineradora, seria necessário um barragem para armazenamento do rejeito de 1.800 x 1.000 x 50 metros, totalizando uma área superficial de 1.792.800,00 m². Com o sistema de desidratação proposto, foi calculado

que 20,38 % do volume total dos rejeitos ficaria retido nos tubos de geotêxtil, restando 79,62 % do total para ser armazenado na barragem, que consequente teria suas dimensões reduzidas. Com o novo volume a nova barragem teria 1.800 x 793 x 50 metros, totalizando uma área superficial de 1.427.400,00 m², tendo assim uma redução da área a ser desapropriada em 365.400,00 m².

6 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi comprovado que o uso de tubos geotêxteis permitem reduzir em 20,38% a área de armazenamento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o presente estudo foi realizada uma análise tomando em conta apenas a redução da área de disposição final do rejeito, necessidade crítica do cliente, para evitar tramites complicados e onerosos como licenciamento ambiental (que algumas vezes pode ser ate de futuro incerto) e, também, tramites simples como execução de estudos e projetos que mesmo sendo economicamente despresíveis, geram atrasos no início da produção.

Verificou se também que na presença de um auxiliar de floculação os resultados obtidos foram mais satisfatórios, pois além da maior retenção de sólidos em seu interior, o percolado resultante do processo apresentou menor turbidez, tornando se quase transparente.

Devido a alta concentração de sólidos no interior e elevado peso dos tubos, estes podem ser utilizados de forma estrutural, como no alteamento das barragens, paredes de contenção para impedir a passagem de líquidos, entre outras. Se os tubos não tiverem serventia para o usuário, eles devem ser dispostos em aterros sanitários adequados sem qualquer risco adicional, devido todo material retido estar confinado em seu interior.

Além da função estrutural e facilidade em seu descarte, uma opção interessante de ser explorada é a possibilidade de, após passar por um tratamento conhecido como osmose reversa, o percolado ser lançado em corpos receptores

sem o risco de contaminação ambiental.

Depois da fatalidade ocorrida em Mariana, Minas Gerais, com o rompimento das barragens de rejeitos, muito tem se falado de como minimizar os efeitos causados pelo rejeitos que entraram em contato com o meio ambiente, principalmente com as águas do Rio Doce. Um dos métodos de tratamento para a descontaminação das águas do Rio Doce seria através do bombeamento das águas contaminadas para o interior dos tubos geotêxteis, e após os devidos tratamentos serem lançada novamente ao corpo receptor. Através desse tratamento haveria uma diminuição da concentração de minerais e contaminantes nas águas do Rio Doce.

REFERÊNCIAS

- ASTM D 7701-11. *Standard Test Method for Determining the Flow Rate of Water and Suspended Solids from a Geotextile Bag*.
- ASTM 2035-08. *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*
- Busch, R. G. (2015). *Barragens de rejeitos*. Conversa pessoal. São Paulo, 2015.
- Caressato, W. (2015). *Desidratação dos Rejeitos Provenientes da Mineração através de Tubos Geotêxteis*. Dissertação de Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2015.
- IWT Águas e Efluentes. (2015). *Relatório Técnico*, Rio de Janeiro, Brasil, 9p.
- Graphical Results. Disponível em: <https://www.geoprograms.com/geocopsscreens.htm>. Acesso em: 12 de Julho de 2016.
- Lundin G. M., Escobar L. G. e Stephens T. (2006). *Cursos d'água e lagoas contaminadas com PCB (Bifenóis policlorados) de polpa e papel são contidas e desidratadas usando unidades Geotube proporcionando uma solução ambiental econômica. Duas localizações são apresentadas*. In: 8º Simpósio da IWA sobre Esgotos de Indústrias Florestais, Vitória, Brasil, 9p.
- Kazimierowicz, K. (1994) *Simple Analysis of Deformation of Sand-Sausages*. 5th International Conference on Geotextile, Geomembranes and related Products., Singapore, p. 775-778.
- Leshchinsky, D. and Leshchinsky, O., "Geosynthetic Confined Pressurized Slurry (GeoCoPS): Supplemental Notes for Version 1.0," Report TR CPAR-GL-96-1, September 1996, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling, H.I. and Gilbert, P.A., "Geosynthetic Tubes for Confining Pressurized Slurry: Some Design Aspects," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 8, 1996, pp. 682-690.
- Martins, P. M. e Vidal, D. M. (2006). *Tubos Geotêxteis para acondicionamento e desaguamento de rejeitos de mineração*. In: 12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, XII ENCITA, São José dos Campos, Brasil, 9p.
- TDM Brasil (2015). *Acervo fotográfico*. Campinas, 2015.
- Vertematti, J. C. (2015). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Editora Edgard Blucher. 568p.