

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THAYS DE AGUIAR RODRIGUES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM LEITO DE
SECAGEM DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE
MINA (DAM)**

CRICIÚMA

2016

THAYS DE AGUIAR RODRIGUES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM LEITO DE
SECAGEM DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE
MINA (DAM)**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof.^a MSc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA

2016

THAYS DE AGUIAR RODRIGUES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM LEITO DE
SECAGEM DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE
MINA (DAM)**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 22 de Julho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a MSc. Nadja Zim Alexandre - UNESC - Orientador

Prof.^a MSc Rosimeri Venâncio Redivo – (UNESC)

Prof.^a MSc Marta de Souza Hoffman - (UNESC)

Dedico esse trabalho a minha mãe Rosimeri de Aguiar Rodrigues e ao meu pai João Batista Rodrigues, que ficaram ao meu lado nos momentos mais difíceis e não me deixaram desanimar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou meus passos e me deu força nesta longa caminhada.

Aos meus pais e minha irmã por acreditar em mim e não me deixarem desistir jamais, aos amigos que ganhei nesses anos na universidade, principalmente as minhas grandes amigas Amanda e Carina por todo apoio e parceria.

Agradeço a todos professores que me acompanharam durante a graduação, em especial a minha orientadora Nadja por toda dedicação e carinho e Rosimeri pela oportunidade de estagiar na Rio Deserto.

E a todos que contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

A extração do carvão começou em Santa Catarina por volta do século XIX, porém teve seu grande impulso em 1940. Por vários anos a extração e o beneficiamento desse carvão vieram sendo feitos de forma predatória, e gerando os problemas ambientais que são vistos até hoje. Um deles é a drenagem ácida de mina (DAM), um efluente ácido e que precisa de tratamento. A disposição de lodo das estações de tratamento de DAM é um problema para as mineradoras, por isso a quantidade de lodo produzido e sua disposição deve ser considerado com atenção, devido as concentrações de metais pesados o efluente tem-se uma elevada acidez. Para controlar essa acidez faz-se necessário o tratamento do mesmo com adição de um neutralizante, para que os metais precipitem e decantem. Com o tratamento da DAM há uma geração de lodo com alto teor de umidade. Na mina Novo Horizonte são produzidas cerca de 89 toneladas por mês de lodo, esse resíduo é retirado das bacias de decantação e destinados a aterros devidamente licenciados. O transporte desse lodo era realizado com certa dificuldade, devido a quantidade de água, e conseqüentemente com custo mais elevado. Por este motivo se fez necessário investigar novas aplicações na tratativa deste problema, sendo a implantação de leito de secagem a opção adotada pela empresa. O início do estudo foi realizado através de revisão bibliográfica, com objetivo de parametrizar o leito projetado pela empresa. Ainda foram levantados os resultados laboratoriais de caracterização do lodo do tratamento de DAM, realizadas medições nos fluxos de entrada e saída de material, de modo a se obter o balanço de massa. As análises e medidas de umidade do lodo na entrada e saída do sistema, foram realizadas no laboratório da Rio Deserto, localizado em Urussanga. As vantagens econômicas do processo foram avaliadas comparando o custo de implantação do projeto leito de secagem com a alternativa de implantação de filtro prensa. O presente trabalho objetivou analisar a viabilidade técnica e econômica do leito de secagem de lodo gerado no tratamento de DAM projetado pela empresa Rio Deserto. Para simular a eficiência do leito certificando então sua viabilidade técnica e posteriormente a econômica, foi realizado um protótipo em escala reduzida utilizando recipientes com volume de 20 litros. Foram constituídas as camadas originais do projeto, porém adotando-se a redução da escala. Os recipientes com o lodo da lagoa de decantação foram dispostos no local onde será construído o leito de secagem. O experimento foi realizado em triplicata. Foi avaliada a umidade semanalmente durante

35 dias. Registrou-se ainda o comportamento do lodo nas diversas situações climáticas. Com os dados obtidos do projeto da empresa e do experimento realizado foi possível prever o comportamento do leito de secagem com relação à carga de lodo a ser aplicada, bem como a redução do volume de material a ser transportado para o aterro. Os dados demonstraram que a construção do leito de secagem é a alternativa mais econômica a ser adotada, além de atender as necessidades atuais da empresa.

Palavra-chave: Disposição de lodo. Mineração. Lodo de tratamento de drenagem ácida. Leito de secagem. Redução de volume de lodo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Camadas de um leito de secagem.....	22
Figura 2- Leito de secagem típico de estações de tratamento de esgoto	22
Figura 3- Localização mina Nova Horizonte.....	25
Figura 4- Situação atual da Nova Horizonte.....	26
Figura 5- Bacia de captação ou equalização.....	27
Figura 6- Sistema de adição de cal.	28
Figura 7- Adição de cal no efluente bruto.....	28
Figura 8- Sistema de sopradores para oxidação dos íons ferrosos e agitação turbulenta.	29
Figura 9- Bacia de decantação.....	30
Figura 10- Balsa de apoio da bomba de lodo.....	31
Figura 11- Limpeza da bacia de captação.	31
Figura 12- Lodo retirado da bacia de captação.	32
Figura 13- Pluviômetro	38
Figura 14- Termo anemômetro.....	39
Figura 15- Pontos de obtenção das alíquotas para composição de amostra.	40
Figura 16- Proveta com 100mL da amostra de lodo.	41
Figura 17- Amostra de lodo após a estufa.	42
Figura 18- Cone imhof.....	43
Figura 19- Protótipo do leito de secagem.....	49
Figura 20 - Situação proposta pela empresa.....	53
Figura 21- Situação proposta de filtro prensa.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Desempenho típico de centrifugas na desidratação de lodo.....	19
Tabela 2- Pluviometria total mensal (mm).....	38
Tabela 3- Temperatura média mensal em °C.	40
Tabela 4- Características do filtro prensa.....	47
Tabela 5- Variação na concentração de sólidos (média de 3 repetições) em relação ao tempo e clima.	51
Tabela 6- Resultados dos equacionamentos para dimensionar decantador primário.	54
Tabela 7 - Análise de viabilidade econômica leito de secagem.	56
Tabela 8- Análise de viabilidade econômica filtro prensa.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 MINERAÇÃO EM SANTA CATARINA	14
2.2 IMPACTO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO DE CARVÃO	14
2.3 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA.....	16
2.4 DESIDRATAÇÃO DE LODOS.....	17
2.1.1 Filtro-prensa de esteira.....	18
2.1.2 Filtro-prensa de placas	18
2.1.3 Filtro a vácuo	18
2.1.4 Centrifugas	19
2.1.5 Lagoas de lodo	19
2.1.6 Leitos de secagem	20
3 METODOLOGIA	25
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1.1 Tratamento de DAM.....	26
3.1.2 Limpeza das bacias.....	30
3.1.3 Características do lodo gerado no tratamento de DAM.....	32
3.1.3.1 Corrosividade	33
3.1.3.2 Lixiviação	33
3.1.3.3 Solubilização de resíduos	33
3.1.3.4 Análise dos resultados de testes feitos pelo laboratório da Rio Deserto	34
3.1.4 Projeto leito de secagem	34
3.1.4.1 Dimensionamento e critérios para instalação do leito de secagem	34
3.1.4.2 Etapas de construção	35
3.1.4.3 Sistemas de drenagens	36
3.1.4.4 Remoção do lodo do leito de secagem.....	36

3.2 COLETA DE DADOS	36
3.2.1 Dados Meteorológico	37
3.2.1.1 Precipitação pluviométrica	37
3.2.1.2 Temperatura.....	39
3.2.2 Testes laboratoriais.....	40
3.2.2.1 Densidade aparente.....	41
3.2.2.2 Umidade total	42
3.2.2.3 Percentual de sólidos	43
3.2.2.4 Volume de sedimentação.....	43
3.2.3 Avaliação dos parâmetros do projeto do leito de secagem	44
3.3 ALTERNATIVA DE INSTALAÇÃO DE FILTRO PRENSA	45
3.3.1 Dimensionamento de filtro prensa	46
3.4 PROTÓTIPO DO LEITO DE SECAGEM.....	48
3.5 VIABILIDADE DO PROJETO	49
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS DADOS	51
4.1 Parâmetros operacionais do leito de secagem.....	51
4.2 Dimensionamento de decantador e filtro prensa	53
4.3 Viabilidade econômica.....	55
5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXOS	63
ANEXO A- Caracterização e classificação dos resíduos conforme NBR 10004:2004	64
ANEXO B- Anexo F da NBR 10004:2004.....	65
ANEXO C- Anexo G da NBR 10004:2004	67
ANEXO D- Procedimento de limpeza das bacias e leito de secagem.....	69

1 INTRODUÇÃO

A mineração em Santa Catarina teve um grande avanço em meados dos anos 1940, pois nessa época começava a implantação do parque siderúrgico nacional, porém a extração do carvão vinha desde o século XIX. O Rio Grande do Sul possui as maiores reservas de carvão enquanto Santa Catarina lidera em termos de produção (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

A drenagem acida de mina é um dos maiores problemas ambientais enfrentados pela indústria de mineração, causada pela oxidação de minerais sulfetados. O efluente ácido gerado pela mineração pode vir a contaminar solos e águas, devido a infiltração da DAM. Os minerais sulfetados estão presentes em minérios de carvão ou minérios de Níquel (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

O tratamento da DAM pode variar dependendo de cada situação específica, para melhor tratamento deve se considerar os aspectos do estado de oxidação dos metais, concentração dos metais e a interação entre os metais. O principal no tratamento de DAM é neutralizar a acidez elevando o pH do efluente, levando a uma precipitação dos metais e posterior decantação (POSSA; SANTOS, 2003).

Os leitos de secagem são compostos por camada suporte, meio filtrante e sistema drenante, onde cada camada tem sua finalidade. Usualmente os leitos de secagem tem o fundo com o próprio solo ou em algumas ocasiões recebem uma camada de concreto. O lodo, porém, deve ser disposto em camadas de 20 a 30 cm para se obter uma melhor desidratação (REALLI, 1999).

Os leitos de secagem são indicados para estações de pequeno ou médio porte, e requerem uma grande área para instalação. Na grande maioria os leitos são feitos por sequenciamento, sendo pouco provável a instalação de um único leito, ou seja, os leitos são construídos com base na quantidade de dias de desidratação do lodo, evaporação e drenagem ajudam na retirada de umidade do lodo presente no leito.

A área de estudo será na Mina Novo Horizonte, localizada em Criciúma/SC, especificamente relacionado ao projeto de leito de secagem a ser implantado para o deságue do lodo gerado no tratamento da drenagem ácida de mina (DAM). O projeto é de natureza aplicada com abordagem quantitativa.

Com os altos custos de transporte e disposição final do lodo proveniente desse tratamento, fez-se necessário achar uma alternativa para reduzir o volume de material a ser transportado e depositado em aterros, sendo uma técnica usual a redução da umidade do lodo gerado.

A alternativa adotada pela empresa é o deságue do lodo de DAM em leitos de secagem. Esta técnica exige de disponibilidade de área, o que não é problema para a Mina Novo Horizonte. Por outro lado, não é necessário investimento com equipamentos sofisticados, e requer baixo consumo de energia, uma vez que é um processo que se aproxima das condições naturais de secagem.

Desta forma, o presente estudo tem como principal objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de um leito de secagem para o lodo gerado no tratamento de drenagem ácida da Mina Novo Horizonte, localizada em Criciúma, Santa Catarina. Para o alcance desta meta foi necessário estabelecer etapas intermediárias para o projeto, entre estas:

- a) Parametrizar o projeto do leito de secagem frente aos parâmetros de referência;
- b) Simular em laboratório a redução de umidade do lodo de tratamento de DAM;
- c) Balancear entradas e saídas do sistema;
- d) Avaliar a comparação da viabilidade econômica leito de secagem e filtro presa;
- e) Avaliar vantagens e desvantagens do leito de secagem em comparação com a proposta alternativa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MINERAÇÃO EM SANTA CATARINA

No final do século XIX a lavra de carvão se iniciava em Santa Catarina, as empresas que mais se destacaram na região foram Companhia Carbonífera Urussanga (1919) e a Companhia Carbonífera Prospera (1921) (KOPPE; COSTA, 2008).

O aumento da demanda por produtos de ordem renovável e não renovável que envolve processos de mineração, vem comprimindo cada vez mais os recursos naturais. No entanto, há a necessidade do desenvolvimento econômico e social, porém devemos assegurar que os empreendimentos visem meios de crescer sem que deixem de lado a preservação dos recursos naturais (SHNEIDER, 2008).

Em 1970 Santa Catarina teve uma queda em relação a lavra de carvão, sendo que 11 empresas apenas continuavam nesse ramo, porém em 1973 com a crise do petróleo, aumentou as lavras de carvão na região. Estima-se que para o século XXI o cenário do carvão conta muito com o rumo da matriz energética brasileira (KOPPE; COSTA, 2008).

Em Santa Catarina o método mais aceito devido ao seu baixo impacto visual é a lavra subterrânea, mas existem vários outros impactos ambientais significativos nesse tipo de lavra, um deles e muito significativo são as mudanças no comportamento do lençol freático, por isso a importância de monitoramento com piezômetros nas áreas próxima a extração de carvão (KOPPE; COSTA, 2008).

2.2 IMPACTO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO DE CARVÃO

Quando se faz uma análise de impacto ambiental tem que se levar em consideração os aspectos que levaram a sua ocorrência e avaliados segundo suas características, benéficas ou adversas, diretos ou indiretos, temporários ou permanentes; imediatos, reversíveis ou irreversíveis, locais ou regionais, de médio e/ou longo prazo. Os principais impactos causados pela mineração de carvão segundo Krebs (1994, p.18) são apresentados no quadro 1.

Quadro 1- Principais impactos e consequências ambientais em função do processo de mineração e beneficiamento de carvão.

IMPACTO	CONSEQUENCIA	CARACTERIZAÇÃO	MITIGAÇÃO OU COMPENSAÇÃO
Erosão Hídrica	Contaminação de água e solo, assoreamento, destruição de drenagens, ruas.	Direto, adverso, temporário, imediato, reversível, local e regional.	Reservatórios e barragens de rejeitos, drenagem adequada, evitar exposição de solo e rocha em locais declivosos.
Escoamento das águas superficiais	Modificação do regime de escoamento, represamento ou aceleração do fluxo hídrico.	Direto, adverso, irreversível, imediato, permanente, local e regional.	Evitar acúmulo de materiais extraídos sobre as drenagens, manutenção do fluxo original através de planejamento prévio, evitar represamentos.
Deposição de sedimentos ou partículas	Contaminação de água e solo, assoreamento.	Direto, adverso, temporário, imediato, reversível, local e regional	Uso adequado de reservatórios e barragens de rejeitos, evitar exposição de solo e rochas por longos períodos e em locais inadequados.
Interações físico-químicas na água e no solo.	Comprometimento da qualidade da água e solo, interrupção de processos pedogenéticos, interações secundárias com água subterrânea.	Direto, adverso, imediato, permanente irreversível e regional.	Medidas semelhantes aquelas de erosão hídrica reforçando-se o aspecto de impermeabilização de depósitos de rejeitos, com drenagem que evite a entrada de águas pluviais na zona minerada.
Movimentação das águas de superfície.	Alteração da infiltração e escoamento subterrâneo, contaminação.	Direto, adverso, imediato, permanente, irreversível e regional.	Manutenção de nascentes, desvio de águas subsuperficiais da área minerada, controles periódicos da qualidade da água verificando a eficiência dos sistemas de impermeabilização.
Circulação de gases e partículas na atmosfera.	Dispersão de partículas e gases, prejudicando a qualidade do ar, problemas para manutenção do nível de vida animal e vegetal.	Direto, adverso, imediato, temporário, reversível, local e regional.	Instalação de sistemas e eficientes de filtragem na queima de carvão, precipitadores de partículas.
Potencialização e desenvolvimento de vibrações e subsidências.	Danos para edificações e zonas agricultáveis.	Direto, adverso, permanente, ocorrência a médio e longo prazos, local, reversível.	Dimensionamento adequado de explosões e de estruturas de contenção de galerias.
Remoção da vegetação e do solo para acesso ao subsolo.	Destruição da cobertura vegetal e animal.	Direto, adverso, imediato, permanente, irreversível e regional.	Separar o solo para reposição futura sobre a área minerada e recomposição vegetal com espécies nativas.

Fonte: KREBS,1994.

2.3 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

A escolha para os produtos utilizados no tratamento dos efluentes provindos da mineração de carvão, vai muito em consideração aos custos, disponibilidade, pureza, riscos no manuseio etc., no Brasil existem alguns estudos que mostram a necessidade de uma grande quantidade de calcário para que a acidez sofra alguma neutralização (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

Devida a oxidação da reação química de pirita, oxigênio e água em ácido sulfúrico e sulfeto ferroso, tende a baixar o pH do efluente, que por consequência promove a solubilização de metais pesados na forma iônica (SILVEIRA, 2004).

A drenagem ácida de mina (DAM) deve ser tratada conforme leis federais, estaduais e municipais a fim de reutilizá-la ou dispô-la em corpo hídrico. Para que isso ocorra é necessário pelo menos um tratamento convencional dessa DAM, incluindo então a neutralização da acidez com produtos alcalinos e precipitação dos íons metálicos da solução aquosa (POSSA; SANTOS, 2003).

Drenagem ácida de mina (DAM) é um fenômeno que se inicia quando rochas contendo minerais sulfetados são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e, quando dispostas na superfície terrestre, oxidam-se por reação com água e oxigênio atmosféricos (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014, p.24).

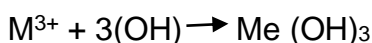
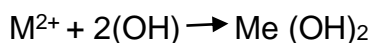
Segundo Possa e Santos (2003), cada drenagem ácida é “única” então as técnicas de tratamento podem variar de lugar para lugar, por isso tem que se considerar num tratamento de DAM fatores que afetam diretamente a velocidade de reação e eficiência de remoção de metais pesados: oxidação, concentração e interação dos metais.

Segundo Mello, Duarte e Ladeira (2014), o termo DAM é usado quando se quer falar sobre oxidação da pirita (FeS_2). As características da DAM são relacionadas com baixos valores de pH ($>3,5$), altas taxas de sulfato (2000 mgL^{-1}) e concentrações superiores as que existem em meios naturais de cátions metálicos.

Para tratar uma DAM é necessário adicionar um composto alcalino para que então o pH do efluente se eleve e forneça íons hidroxila (OH^-) para reagir com os íons metálicos presentes. Logo após essa reação entre os íons ocorre a formação de íons metálicos insolúveis que se precipitam, sendo então “removidos” pela decantação (POSSA; SANTOS, 2003).

A formação da DAM ocorre por meio dos escoamentos das águas nas paredes das minas, sendo que em alguns casos percebe-se o local com coloração avermelhada, pois ali ocorre a oxidação do Fe^{2+} a Fe^{3+} (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

A variação do pH para se ter uma boa precipitação da grande parte dos metais fica entre 6-9, existem metais que precipitam em 3,5 e 5,5, sendo eles, hidróxido férrico e hidróxido de alumínio. Podemos ver pelas equações genéricas as precipitações em meio aquoso, onde M simula os íons metálicos em solução (POSSA; SANTOS, 2003).



A produção de DAM está associada a retirada do minério, sendo nessa etapa onde a rocha fica exposta as condições atmosféricas, assim ocorre um maior risco de contaminação do ambiente (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

A fim de mitigar e planejar o impacto que ocorrera na rocha na geração de DAM, é de fundamental importância a avaliação de riscos. Sendo que deve-se conhecer a composição dos minerais, com foco nos sulfetados e a capacidade de geração de DAM (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

A realização de testes em laboratórios é de suma importância para o conhecimento a potencialidade com a qual aquela rocha gerará drenagem acida.

2.4 DESIDRATAÇÃO DE LODOS

Normas como ISO 9000 e 14000 focam em melhorias no sistema de uma empresa, tanto na parte ambiental como na parte de qualidade. Levando em consideração esse aspecto, um gerenciamento do sistema de tratamento e disposição do resíduo gerado nas bacias de decantação é de fundamental importância (REALI, 1999).

O processo de desidratação de lodo pode ocorrer de forma natural ou mecanizada, visando a diminuição do volume e conseqüentemente do custo de transporte e deposição em aterro sanitário. O transporte com o lodo desidratado em

uma faixa de 15 a 40 % de umidade poderá ser feito em caminhões comuns (NUVOLARI, 2003).

Segundo Nunes (2004) as formas mecanizadas de desidratação são; filtro-prensa de esteira, filtro-prensa de placas, filtro a vácuo e centrifugas, e nas formas naturais; leito de secagem e lagoas de lodo.

2.1.1 Filtro-prensa de esteira

Nesse processo o lodo gerado é prensado em esteiras, com pressão constante, logo após já está pronto para ser retirado por meio de raspagem e transportado ao local de armazenamento para posterior descarte por meio de correias transportadora. A massa seca varia de 25 a 35% (NUNES, 2004).

Esse processo é muito utilizado nos Estados Unidos, pois tem uma operação contínua e podem ser usados polímeros para ajudar na etapa que antecede o processo de filtragem (NUVOLARI, 2003).

2.1.2 Filtro-prensa de placas

Esse processo é composto por um equipamento com placas, sendo essas placas revestidas com telas de pano filtrante, onde o lodo se separará da água. O lodo ficara preso as placas e a água passa pelas telas e orifícios da placa. Cada ciclo pode levar em torno de 4 horas (NUNES, 2004).

A torta (lodo prensado) sai com teor de sólidos de 35%, se tornando o equipamento da forma mecanizada que apresenta esse parâmetro. Esses filtros ao contrário dos filtros-prensa esteira são muito utilizados na Europa, porém esses filtros por terem um valor elevado são indicados para média e grandes empresas (ANDREOLLI,2001).

2.1.3 Filtro a vácuo

Composto por um tambor rotativo, que é imerso no lodo, possui material filtrante, retendo os sólidos e deixando a água retornar. A cada ciclo o meio filtrante é lavado com jato d'água. O lodo nesse caso deve ser condicionado com cloreto férrico, cal ou polieletrólitos (NUNES, 2004).

Segundo Nuvolari (2003), esses filtros estão deixando de ser utilizados pois consomem muita energia e causam sérios problemas com manutenção.

2.1.4 Centrifugas

As centrifugas ocupam pouco espaço, e são compostas por partes moveis consistindo em decantador cônico horizontal e rosca transportadora, compostos por: base suporte, tambor, parafuso transportador, carcaça, conjunto redutor, motor principal e tubo de alimentação (ANDREOLI, 2001).

A centrifuga é escolhida consultando os modelos disponíveis do fabricante, onde sua capacidade dependera do grau de clarificação esperado na água. A concentração de sólidos na torta varia de 15 a 40 % (NUNES, 2004).

Segundo Nuvolari (2003), as centrifugas estão sendo utilizadas novamente, pois, os valores de mercado estão ficando mais acessíveis. Na tabela 1 se observa o desempenho das centrifugas na desidratação em relação a alguns tipos de lodo.

Tabela 1- Desempenho típico de centrifugas na desidratação de lodo.

Tipo de lodo	Conc. da torta (%)	Captura sólidos (%)	Dosagem de polieletrólito (g/kg)
Lodo bruto primário	28-34	95	2-3
Lodo anaeróbio	35-40	95	2-3
Lodo ativado	14-18	95	6-10
Lodo misto* bruto	28-32	95	6-10
Lodo misto anaeróbio	26-30	95	4-6
Lodo aeróbio**	18-22	95	6-10

Nota: *lodo primário + ativado excedente

**aeração prolongada ou ativado excedente

Fonte: ANDREOLI, 2001.

2.1.5 Lagoas de lodo

Nesse caso a concentração de sólidos chega de 20 a 30 %, requerem uma grande área para instalação e devem possuir duas células para o acondicionamento

do lodo, na parte oposta da lagoa haverá a remoção do sobrenadante, sendo que na lagoa devem ser colocadas caixas coletoras com bombas de recalque (NUNES, 2004).

A lagoa dependerá muito do clima da região em que se encontra e também da lâmina de lodo colocada nela, porém, esse método é simples e barato. O lodo deve ser estabilizado, ocorrendo sua degradação por forma aeróbia ou anaeróbia, evitando problemas com odores (NUVOLARI, 2003).

De acordo com Nunes (2004), esse sistema é indicado para lodos inorgânicos, como por exemplo, cerâmicas, minerações, indústrias extrativistas, pois o lodo não terá o problema de geração de odores.

As lagoas são construídas na terra sendo que o sobrenadante será drenado, a quantidade de lodo não ultrapassará uma altura de 1,4 m. É indicado o retorno da água retirada do lodo para tratamento, caso não esteja dentro dos padrões estabelecidos (NUVOLARI, 2003).

2.1.6 Leitos de secagem

Os leitos de secagem são uma forma natural e mais antiga no que se diz respeito a remoção da umidade de lodos. A Norma Brasileira (NBR) 12.209- Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas regulamenta os projetos de leito de secagem (GONÇALVES, 1999).

Leitos de secagem são comuns em estações de tratamento de esgoto, sendo que nos Estados Unidos cerca de dois terços das estações utilizam esse sistema. Porém, só no final da década de 90 vem-se estudando mais a fundo a parte de engenharia dos leitos de secagem (REALI, 1999).

Conforme Norma Brasileira (NBR) 12.209 (ABNT,2011), os leitos de secagem devem ser aplicados apenas em lodos estabilizados, ou seja, lodos que degradam por meio de reações anaeróbias ou aeróbias, e não geram odores perceptíveis.

A NBR 12.290 (2011) fala também que:

7.7.1.2 A área total de leito de secagem deve ser subdividida em pelo menos duas câmaras. A distância máxima de transporte manual do lodo seco no interior do leito de secagem não deve superar 10 m.

7.7.1.3 A área de leito de secagem deve ser calculada a partir de:

a) produção de lodo;

- b) teor de sólidos no lodo aplicado;
- c) ciclo do processo de secagem para obtenção do teor de sólidos desejado;
- d) altura de lodo sobre o leito de secagem;
- e) condições climáticas locais.

7.7.1.4 A descarga de lodo no leito de secagem não pode exceder a carga de sólidos em suspensão totais de 15 kg/m² de área de secagem, em cada ciclo de operação, salvo quando devidamente justificado.

7.7.1.5 O fundo do leito de secagem deve promover a remoção do líquido intersticial, através de material drenante constituído por:

- a) uma camada de areia com espessura de 5 cm a 15 cm, com diâmetro efetivo de 0,3 mm a 1,2 mm e coeficiente de uniformidade igual ou inferior a 5;
- b) sob a camada de areia, três camadas de brita, sendo a inferior de pedra de mão ou brita (camada suporte), a intermediária de brita 3 e 4 com espessura de 10 cm a 30 cm e a superior de brita 1 e 2 com espessura de 10 cm a 15 cm;
- c) sobre a camada de areia devem ser colocados tijolos recozidos ou outros elementos de material resistente à operação de remoção do lodo seco, com juntas de 2 cm a 3 cm tomadas com areia da mesma granulometria da usada na camada de areia; a área total de drenagem, assim formada, não deve ser inferior a 15% da área total do leito de secagem;
- d) o fundo do leito de secagem deve ser plano e impermeável, com inclinação mínima de 1% no sentido de um coletor principal de escoamento do líquido drenado. Alternativamente pode ter tubos drenos ou material similar de diâmetro mínimo de 100 mm, dispostos na camada suporte e distantes entre si não mais que 3,00 m.

7.7.1.6 A utilização de mantas geotêxtis em adição ou substituição as camadas de areia deve ser justificada.

7.7.1.7 O dispositivo de entrada do lodo no leito de secagem deve permitir descarga em queda livre sobre placa de proteção da superfície da camada de areia.

7.7.1.8 A altura livre das paredes do leito de secagem, acima da camada de areia, deve ser de 0,5 m a 1,0 m, a altura do lodo sobre a camada drenante não pode exceder 0,35 m.

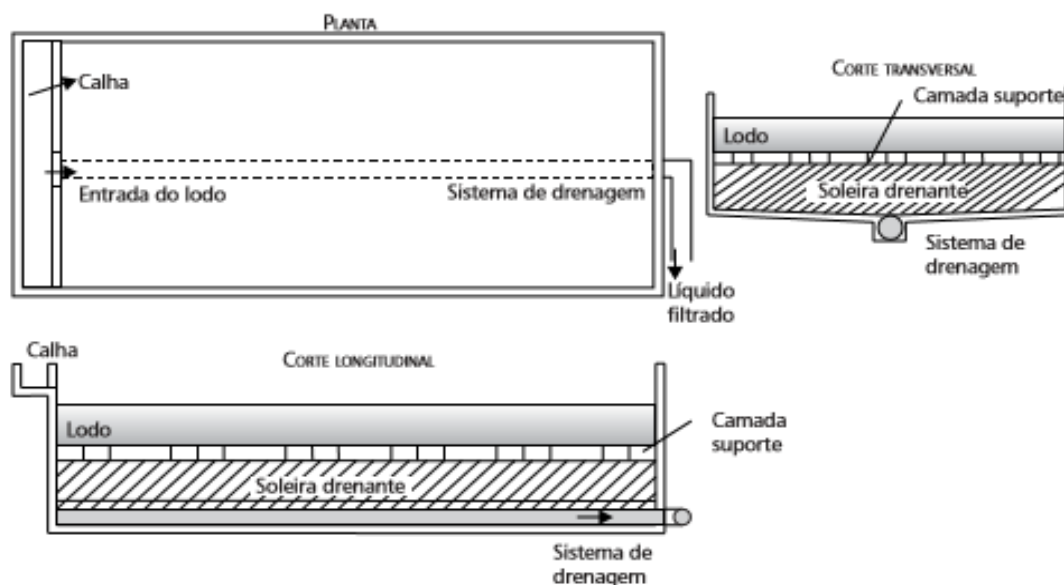
7.7.1.9 O líquido drenante coletado deve retornar à entrada da ETE.

7.7.1.10 Os leitos de secagem podem ser cobertos com material de boa transparência.

Cada camada do leito de secagem tem uma finalidade dependendo do tamanho das partículas que compõem as camadas do leito. Primeiramente o leito é composto por uma camada suporte, onde essa camada procura manter a espessura do lodo, facilitar a remoção manual e evitar a formação de aberturas no lodo devido aos movimentos sobre o leito (CORDEIRO, 1999).

Logo após a camada suporte tem-se no leito o meio filtrante que é geralmente composto por britas graduadas, e por fim o sistema drenante que são constituídos por tubos perfurados com aproximadamente 150 a 200 mm de diâmetro como apresenta figura 1 (CORDEIRO, 1999).

Figura 1- Camadas de um leito de secagem.



Fonte: ANDREOLI, 2001.

Os leitos são construídos de alvenaria ou concreto e fundo de concreto. E o tanque será composto por materiais que possibilitem a drenagem da água presente no lodo em questão (GONÇALVES, 1999).

Figura 2- Leito de secagem típico de estações de tratamento de esgoto



Fonte: MEC, 2008.

Segundo Andreoli (2001), a forma de limpeza dos sedimentadores influencia muito na quantidade de água livre presente no lodo, por exemplo, um sedimentador com limpeza diária apresenta cerca de 1% de concentração de sólidos (10.000 mg/L) e outro com a limpeza intermitente gera 3% (30.000 mg/L).

Os leitos de secagem usualmente são construídos com uma cobertura de telhas translúcidas, para evitar que a chuva ocasione o transbordo do leito ou devolva a umidade para o lodo. O dimensionamento é feito conforme a geração de lodo provindo do tratamento do efluente (NUNES,2004).

As condições de drenagens são tão importantes quanto as condições climáticas (evaporação) para a remoção da água presente no lodo, há também o fator estrutural dos sólidos que compõem o lodo do tratamento de efluentes. A retirada da água por meio da drenagem ocorre somente nas primeiras 72 horas, após esse período a evaporação é a principal responsável pela eliminação da água (ANDREOLI, 2001).

Existem leitos de secagem onde são colocados uma camada de tijolos cerâmicos não rejuntados entre as camadas de areia e o lodo, para não ocorrer a mistura da areia e lodo no processo de retirada do lodo. Quando a retirada do lodo ocorre manualmente o tamanho do leito de secagem não pode ultrapassar 8 metros de largura por 20 metros de comprimento (NUVOLARI, 2003).

Os leitos de secagem em estações de tratamento são construídos conforme a vazão do lodo produzida, ou seja, se for necessário 15 dias para secagem do lodo são construídos 16 leitos, pois quando o 16^a leito estiver sendo carregado o 1^o leito já estará pronto para a raspagem do lodo (NUNES, 2004).

Segundo Andreoli (2001), os leitos de secagem apresentam algumas vantagens e desvantagens. O quadro 2 apresenta as principais vantagens e desvantagens dos leitos de secagem.

Quadro 2- Vantagens e desvantagens do leito de secagem de lodo.

Vantagens	Desvantagens
Baixo valor de investimento	Área requerida.
Torta com alto teor de sólidos	Exigência de estabilização prévia do lodo
Baixo consumo de energia elétrica e produto químico	Influência significativa do clima no desempenho operacional do processo
Baixa sensibilidade a variações nas características do lodo	Risco elevado de liberação de odores desagradáveis e proliferações de moscas
Exigência de operador com baixo nível de qualificação devido á simplicidade operacional e ao baixo nível de atenção requerido	Risco de contaminação do lençol freático caso o fundo dos leitos e o sistema de drenagem não sejam bem executados

Fonte: ANDREOLI, 2001.

Segundo Andreoli (2001), a estrutura básica dos leitos de secagem é formada por camada suporte, meio filtrante e sistema drenante, porém, a mudança nos arranjos físicos não são avaliados mais a fundo.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada para a análise da viabilidade técnica e econômica de um leito de secagem para o lodo gerado no tratamento de drenagem ácida de mina de carvão em subsolo, está localizada no município de Criciúma, sul de Santa Catarina. Neste estudo a empresa que serviu como base para obtenção dos dados foi a mina Nova Horizonte, pertencente a empresa Rio Deserto (figura 3)

Figura 3- Localização mina Nova Horizonte.



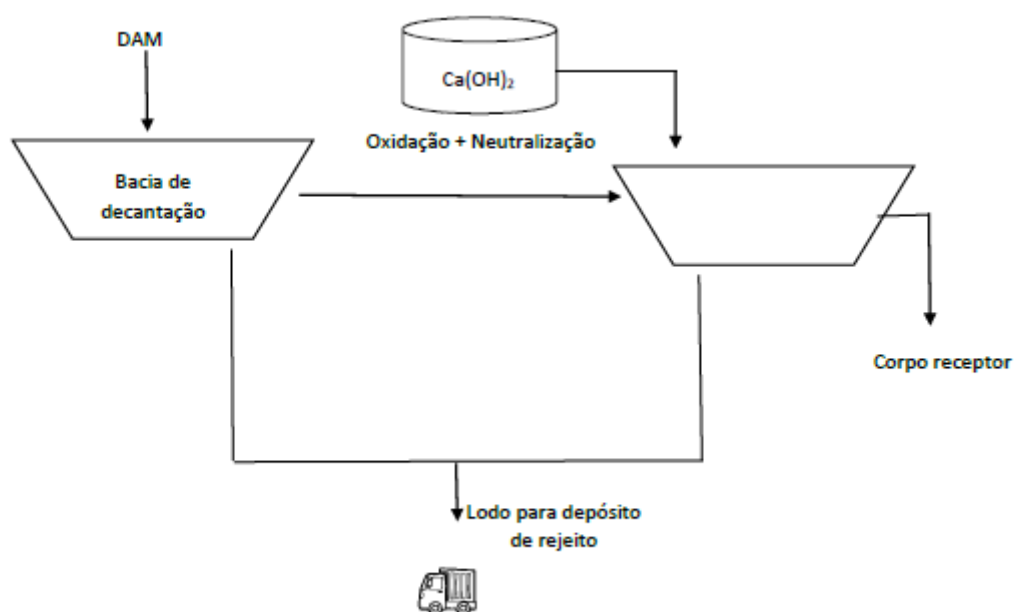
Fonte: Adaptado Google Earth, 2016.

A empresa Rio Deserto está no mercado desde 1918 realizando a extração de carvão mineral, contando com 15 unidades produtivas, administrativas e de pesquisa. Com o passar do tempo a empresa se reinventou e atualmente tem negócios na indústria carbonífera, florestamento e reflorestamento, metalurgia, agronegócio, entre outras. A empresa foi a pioneira na exploração do carvão e a primeira a utilizar métodos modernos para extração e beneficiamento, a exemplo do uso do minerador contínuo, do espessador de lamelas, filtro prensa, meio denso e *backfill*. Atualmente, conta com cerca de 700 colaboradores, e presentes em pelo menos oito municípios catarinenses.

A atividade de extração de carvão em subsolo na mina Nova Horizonte está temporariamente paralisada, porém para possibilitar a retomada de produção, a mina passa por constante manutenção, onde o bombeamento da água que chega às galerias de subsolo é a etapa mais importante. Desta forma, o bombeamento da drenagem de subsolo, que por motivos relatados no referencial, apresenta características ácidas, assim como as águas de escoamento do pátio operacional, que são conduzidos à estação de tratamento antes de serem encaminhados ao corpo receptor.

Na Figura 4 mostra as etapas realizadas no tratamento da drenagem ácida de mina atualmente na mina Nova Horizonte.

Figura 4- Situação atual da Nova Horizonte.



3.1.1 Tratamento de DAM

Na mina Nova horizonte são tratados aproximadamente 1100 m³/dia de efluente. Deste total, estima-se que 90% são provenientes da drenagem da mina em subsolo e 10% referem-se as drenagens do pátio.

A característica do efluente tratado nesta unidade mineira pode ser resumida como: pH variando entre 8,00 e 9,00; acidez não detectada; sulfatos 910 mg/L. A concentração dos metais que se encontram presentes em maior proporção

varia entre 0,20 a 0,30 mg/L para o ferro total; não detectado para o alumínio dissolvido e 0,02 a 0,05 mg/L para o manganês.

O pátio da Nova Horizonte conta com um total de 4,56 hectares, mas somente 0,5 são drenados e escoados para a bacia de captação, contribuindo assim para o volume de efluente em período de precipitação pluvial.

O efluente bruto, formado principalmente pela drenagem da mina, e quando da ocorrência de precipitação pluviométrica, também pelas águas de escoamento do pátio, é conduzido a uma bacia de captação que tem a função de equalizar as condições do efluente e também de propiciar a decantação de material mais grosseiro, podemos visualizar essa bacia na figura 5.

Figura 5- Bacia de captação ou equalização.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

Devido ao processo de oxidação da pirita e conseqüente formação de ácido, o pH do efluente é ácido, encontrando-se geralmente compreendido entre 5 e 6. Desta forma, o tratamento do efluente inicia com a adição de solução de hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou simplesmente, cal, como apresentado nas figuras 6 e 7.

A cal é recebida em bags de 500 kg e diluída em água em uma caixa com capacidade de armazenamento de 20.000 litros. A solução neutralizante é preparada com concentração de 25 kg/m³ (5%) (figura 6).

Figura 6- Sistema de adição de cal.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

A vazão de efluente conduzido a esta bacia é de aproximadamente 110 m³/h. Da bacia de captação, o efluente bruto é bombeado para um tanque de neutralização, com volume de 20.000 L, onde se faz a adição da solução neutralizante (Figura 7).

Figura 7- Adição de cal no efluente bruto



Fonte: DA AUTORA, 2016.

O tempo de contato do efluente com a solução alcalina é de aproximadamente 20 minutos e ocorre com mistura turbulenta. Essa mistura turbulenta é realizada através de sopradores como mostra a figura 8, os sopradores fazem também auxiliam na oxidação dos metais.

Figura 8- Sistema de sopradores para oxidação dos íons ferrosos e agitação turbulenta.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

Como há variação na qualidade do efluente bruto, principalmente em função das águas de pátio, se faz necessário realizar o controle do pH para verificar a dosagem ideal da solução de cal. Este controle é realizado com ajuda de um cone Imhof e um cronômetro, ou seja, faz-se o controle do pH da bacia de decantação (figura 9) e após a verificação do pH, a dosagem é aumentada ou diminuída conforme necessidade. A formação dos flocos e a velocidade de precipitação dos mesmos no cone Imhof ajudam na percepção da dosagem ótima da cal.

Figura 9- Bacia de decantação.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.1.2 Limpeza das bacias

A limpeza da bacia de captação ou de equalização é realizada por máquinas escavadeiras, somente retirando o lodo sedimentado com cuidado para não comprometer a impermeabilização em argila das bordas e do fundo da bacia. Já a limpeza da bacia de sedimentação é feita por uma bomba de lodo, tipo motobomba submersível SPV P-40 colocada sobre uma pequena balsa (Figura 10). A vazão de lodo bombeado desta bacia é de aproximadamente 20 m³/h.

Figura 10- Balsa de apoio da bomba de lodo.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

Atualmente a limpeza da bacia de decantação é feita por máquinas escavadeiras conforme apresentado na figura 11, quando se faz necessário limpar também a bacia de captação, porém essa limpeza é mais cuidadosa para não estragar a impermeabilização de fundo e nem deixar que o lodo chegue na bomba que leva o efluente para ETE.

Figura 11- Limpeza da bacia de captação.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

O lodo que sai da limpeza das bacias é enviado para o aterro com alto teor de umidade. O depósito de rejeito da empresa Rio deserto fica localizado no Poço 8-Içara/SC. Este percurso tem uma extensão de aproximadamente 19,5 Km.

O leito de secagem foi proposto pela empresa Rio Deserto justamente para diminuir a umidade presente no mesmo e reduzir custos com o transportes em caminhões vedados (próprios para transporte de resíduos mais aquosos).

3.1.3 Características do lodo gerado no tratamento de DAM

A norma NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos ao meio ambiente e a saúde pública. Dividida em grupos de classificação, a norma apresenta a Classe I (resíduos perigosos) e classe II (resíduos não perigosos), onde os não perigosos se encontram subdivididas em duas partes, Classe IIA (não inerte) e classe IIB (inerte).

Segundo a empresa Rio deserto o lodo gerado (figura 12) no tratamento é classificado perante estudos em laboratório de corrosividade, lixiviação e solubilização.

Figura 12- Lodo retirado da bacia de captação.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.1.3.1 Corrosividade

Conforme NBR 10.004 (ABNT, 2004) o resíduo é corrosivo quando a amostra aquosa apresentar pH inferior a 2 ou superior/igual a 12,5, ou sua mistura com água na proporção 1:1 em peso, produzir uma solução de pH inferior a 2 ou superior/igual a 12,5.

A empresa Rio Deserto (unidade laboratorial) preparou o teste com 50 g da amostra e 50 mL de água deionizada, e constatou-se então pelo valor do pH de 8,89 que o resíduo analisado não é corrosivo.

3.1.3.2 Lixiviação

A unidade laboratorial da empresa Rio deserto utilizou a NBR 10.005 (ABNT, 2004) (procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos), para classificar se os resíduos são de Classe I (perigosos) ou Classe II (não perigosos).

A lixiviação consiste na capacidade de transferências de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio da dissolução do meio extrator.

Os resultados analisados se mantiveram dentro do padrão estabelecido no anexo F da NBR 10004/04, que encontrasse no anexo B, desta forma o lodo é classificado como não perigoso.

3.1.3.3 Solubilização de resíduos

Utilizado para diferenciar os resíduos de Classe II A e Classe II B, conforme NBR 10.006/2004.

A amostragem realizada pelo laboratório da empresa foi feita conforme procedimento estabelecidos pela NBR 10.007/2004 (amostragem de resíduos).

A amostra foi quarteada e seca a 42°C, pesou-se 250 g de amostra e transferiu para um frasco de 1500 mL adicionando-se 1000 mL de água deionizada, posteriormente foi feita a agitação por 5 minutos e depois o frasco foi fechado deixando-se em repouso por 7 dias.

Logo após a solução foi filtrada, obtendo-se o então chamado extrato solubilizado, sendo ele submetido a análise química, onde os resultados analisados se mantiveram dentro do padrão estabelecido pela NBR 10004/04 (ABNT, 2004) que encontra-se no anexo C.

3.1.3.4 Análise dos resultados de testes feitos pelo laboratório da Rio Deserto

Pelos resultados apresentados pela empresa Rio Deserto constatou-se que o lodo analisado não se enquadra em resíduo perigoso, pois nenhum dos parâmetros analisados mostrou-se superior ao estabelecido no anexo F da NBR 10004/2004 (ABNT, 2004) que encontra-se no anexo B deste trabalho. Sendo classificado como classe II não perigoso, e não inerte.

3.1.4 Projeto leito de secagem

O leito de secagem projetado para solucionar o problema da Nova Horizonte, será implantado no próprio parque fabril da empresa, ao lado da bacia de captação. Conforme discutido no referencial bibliográfico, o objetivo da implantação do leito de secagem para a Nova Horizonte será na desidratação do lodo e redução da umidade que irá acontecer através da drenagem e evaporação do líquido.

Além da redução da umidade, a implantação do leito irá facilitar o transporte do lodo, além de reduzir o volume de lodo enviado para aterro, redução nos custos de transporte para aterro, melhorar a qualidade do efluente tratado, pois a remoção do lodo poderá ser realizada com maior frequência, implicando na redução no risco de transbordo e aumentando o tempo de residência do efluente.

3.1.4.1 Dimensionamento e critérios para instalação do leito de secagem

O leito de secagem da Nova Horizonte receberá o lodo proveniente das bacias de captação e sedimentação e as águas de pátio em época de precipitação pluviométrica. Cabe ressaltar que somente 0,5 hectare da área do pátio é drenada para a bacia de captação.

O dimensionamento proposto pela empresa foi baseado em normas de bacias de sedimentação usada para clarificação de efluentes das usinas de beneficiamento das mineradoras da região.

O projeto do leito de secagem apresenta as seguintes dimensões (RIO DESERTO, 2015):

- 40 metros de comprimento;
- 12 metros de largura;
- 1,50 metros de profundidade;
- 1,5 % de inclinação interna.

3.1.4.2 Etapas de construção

Segundo o projeto (RIO DESERTO, 2015), a etapa inicial ocorrerá com a raspagem do solo no local de instalação do leito, seguido por construção da camada impermeabilizante do fundo com argila compactada, sendo a espessura desta de 0,70 centímetros e declividade de 1,5 % das laterais até a drenagem de fundo.

A crista dos taludes terá 4,0 metros de largura compactados e para evitar erosões, os taludes externos serão construídos com inclinação de 26 graus. Ao longo do talude construído será colocado uma camada seixo de rio ou macadame com 4" com a espessura de 0,25 metros, para evitar o contato do lodo com a camada de argila compactada.

A drenagem de fundo terá 0,70 metros de profundidade por 1,00 metro de largura, utilizando macadame. O fundo do leito será revestido em bidin (geotêxtil) não-tecido com gramatura de 200 g/m².

Tubulação de ladrão terá 12" na parte superior do leito até a bacia de captação. E por fim colocação de grama em leiva nos taludes e retificação das de drenagem superficial.

Entre a bacia e o leito haverá uma estrada com 4 metros de largura, com intuito de passagem de máquinas para limpeza e caminhões para o transporte do lodo.

3.1.4.3 Sistemas de drenagens

A Nova Horizonte fará a recuperação das drenagens já existentes no que diz respeito a captação das águas de pátio e as que incidirem sobre os taludes.

A drenagem profunda será construída por valas escavadas, sendo essa vala revestida com geotêxtil não-tecido, preenchidas então com seixo ou britas de 4" havendo uma declividade de 1,5%.

O líquido drenado do leito de secagem (proveniente do lodo ou da chuva que incide sobre o equipamento) será conduzido para a bacia de captação.

3.1.4.4 Remoção do lodo do leito de secagem

A Nova Horizonte optou por fazer a remoção do lodo seco com uso de escavadeiras hidráulicas e transportar o lodo retirado por caminhões basculantes devidamente vedados, esse lodo será levado para o depósito de rejeito da Mina 101 (pertencente as empresas Rio Deserto), localizado no Poço 8, município de Içara/SC.

Na retirada do lodo alguns cuidados deverão ser tomados para que não seja retirada a camada impermeabilizante do leito de secagem, para isso a empresa treinará o profissional que ficará responsável pela limpeza do leito.

A água retirada nesse processo retornará para a bacia de captação para posterior tratamento na ETE da unidade.

Optou-se em fazer a limpeza desse lodo quadrimestralmente ou quando houver a necessidade para não gerar danos ambientais. A empresa estima que 358 toneladas serão geradas a cada limpeza das bacias, ou seja, a cada limpeza das bacias o leito receberá 358 toneladas de lodo in natura.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados utilizada na análise de viabilidade técnica e econômica de um leito de secagem foi realizada na empresa Rio deserto unidade Nova Horizonte e alguns dos dados como, umidade do lodo, volume e velocidade de sedimentação e concentração de sólidos foram obtidos em testes no laboratório da empresa, com intuito de checar o dimensionamento e parametrizar o processo.

Foram realizadas medições nos fluxos de entrada e saída de material, de modo a realizar um balanço de massa. As análises e medidas de umidade do lodo na entrada e saída do sistema foram realizadas na unidade laboratorial da empresa Rio Deserto. Neste laboratório, também foi caracterizado o líquido percolado do leito, de forma a direcioná-lo ao tratamento adequado em atendimento à legislação.

O início do estudo foi realizado através de revisão bibliográfica, obtendo-se os parâmetros de projeto visando checar o dimensionamento do leito de secagem.

Conforme Nunes (2004), para dimensionar leitos de secagem com a finalidade de desidratação de lodo de ETE's, são necessários dados de vazão média de projeto, volume de lodo gerado por tempo de sedimentação e concentração de sólidos.

3.2.1 Dados Meteorológico

Os dados de aspectos físicos controlados pela empresa referem-se à quantidade de chuvas e temperaturas sendo que esses dados monitorados são os maiores influenciadores da eficiência de um leito de secagem, bem como a influência sobre a geração de efluente para a bacia. Cabe ressaltar que os dados coletados pela empresa são realizados sempre no período matutino por volta das 07h30 min.

3.2.1.1 Precipitação pluviométrica

A Nova Horizonte monitora a quantidade de chuva com auxílio de um pluviômetro conforme mostra figura 13. O pluviômetro é um instrumento meteorológico utilizado para recolher e medir a quantidade de líquidos ou sólidos como chuva ou granizo.

Os dados foram coletados diariamente e registrados sempre no mesmo horário, e a quantidade coletada é verificada com o auxílio de uma proveta. O valor resultante é expresso em milímetros por dia.

Figura 13- Pluviômetro



Fonte: DA AUTORA, 2016.

Os dados coletados com o equipamento são colocados em planilha Excel, especificando o dia da leitura. A planilha de monitoramento conta com os dados de chuvas, temperatura e direção do vento. Na tabela 2 são apresentados os dados referentes à precipitação pluviométrica entre maio de 2015 a abril de 2016.

Tabela 2- Pluviometria total mensal (mm).

Ano	Período estacional											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2015	-	-	-	-	273,1	127,8	265,8	54,5	308,3	258,3	129,6	86,5*
2016	78,4	145,3	142,8	102,4	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: NOVA HORIZONTE, 2016.

3.2.1.2 Temperatura

A Nova Horizonte monitora a temperatura do ar com o termo anemômetro (figura 14). Os dados são registrados diariamente em planilha de controle.

O termo anemômetro permite medir com precisão dados como velocidade do vento, temperatura, ponto de orvalho, umidade relativa do ar, o índice de aquecimento e a pressão barométrica do ar.

Figura 14- Termo anemômetro.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

Os dados apresentados na tabela 3 mostram as temperaturas médias mensais dos períodos de maio de 2015 a abril de 2016.

Tabela 3- Temperatura média mensal em °C.

Ano	Período estacional											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2015	-	-	-	-	23,1	22,3	20,7	26,9	22,9	23,0	25,1	26,5
2016	26,7	28,9	25,2	23,2	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: NOVA HORIZONTE, 2016.

3.2.2 Testes laboratoriais

Com a finalidade de verificação do dimensionamento apresentado pela empresa, fez-se necessário a realização de testes laboratoriais com objetivo de mensurar a umidade, densidade, concentração de sólidos e volume de lodo seco.

A amostragem do lodo retirado das bacias, foi realizado obtendo-se 9 alíquotas (Figura 15) que após homogeneizadas e quarteadas formou a amostra composta que serviu para a obtenção dos parâmetros necessários para presente estudo.

Figura 15- Pontos de obtenção das alíquotas para composição de amostra.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.2.2.1 Densidade aparente

Para realização do teste de densidade aparente utilizou-se balança analítica com precisão de 0,001g e proveta de vidro e graduada com capacidade de 100 mL (figura 16).

A proveta seca por uma hora em estufa e resfriada em dessecador foi pesada até obtenção do peso constante da sua massa. Colocou-se 100 mL de lodo dentro da proveta e pesou-se novamente até peso constante, a diferença desse peso dividido pelo volume conhecido (100 mL) é a densidade aparente do lodo amostrado (Equação 1).

$$D = \frac{M(g)}{V(ml)} \quad Eq. 01$$

Figura 16- Proveta com 100mL da amostra de lodo.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.2.2.2 Umidade total

Para obter-se a umidade total do lodo, utilizou-se uma forma de alumínio seca e pesou-se até peso constante, após foi adicionado um volume da amostra e pesado novamente, o peso dos materiais foi obtido em balança analítica com precisão 0,001g. A amostra foi levada para a estufa em temperatura de $140^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$.

O lodo permaneceu 2h30min na estufa para perder a umidade presente, após a retirada da amostra seca da estufa (figura 17) fez-se um tempo de espera de 5 minutos para que o material resfriasse sem, no entanto, adquirir umidade do ar. Após esse procedimento, obteve-se o peso da amostra.

O peso inicial (amostra úmida) foi dividido pelo peso final (amostra seca) e multiplicado por 100, obtendo-se o percentual de umidade do lodo, conforme apresenta equação 2.

$$\% U.T = \frac{PS}{PU} \times 100 \quad Eq. 02$$

Onde:

PU= Peso úmido

PS= Peso seco

Figura 17- Amostra de lodo após a estufa.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.2.2.3 Percentual de sólidos

Para encontrar o percentual de sólidos presentes na amostra apenas verificou a umidade retirada, sendo o percentual de sólidos a diferença entre 100 % e o percentual da umidade (Equação 3).

$$\% \text{ sólidos} = 100 - \% \text{ umidade} \quad \text{Eq.03}$$

3.2.2.4 Volume de sedimentação

Em um cone de sedimentação tipo Imhof com volume de 1000 mL colocou-se a amostra de lodo e esperou 24 horas para então ler o volume decantado, conforme apresentado na figura 18.

Figura 18- Cone imhof.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

3.2.3 Avaliação dos parâmetros do projeto do leito de secagem

Com objetivo de verificar se o projeto do leito de secagem proposto pela empresa Rio Deserto encontra-se de acordo com as normas e referências utilizadas para elaboração de projetos, optou-se por projetar um leito de secagem em conformidade com as diretrizes propostas pelos autores referenciados e após isso, confrontar com as dimensões do projeto da empresa citadas no item 3.1.3.1.

Segundo Nunes (2004), um exemplo clássico de dimensionamento de leitos de secagem para desidratação de lodos gerados em uma ETE começa com o levantamento de dados da indústria geradora do efluente a ser tratado.

Primeiramente deve ser conhecida a vazão média de projeto, e através de ensaios de floculação obter o volume de lodo por litro em um determinado tempo de sedimentação, também faz-se necessário nessa primeira etapa a concentração de sólidos.

A vazão de lodo pode ser obtida segundo Nunes (2004) pela equação 4.

$$Q_1 = Q \left(\frac{L}{h} \right) \times V \left(\frac{L}{L} \right) \quad Eq. 04$$

Onde:

Q₁= Vazão do lodo;

Q= Vazão média de projeto (entrada na bacia de decantação);

V= Volume de lodo na sedimentação.

Após o cálculo de vazão de lodo calcula-se a área de leitos necessárias por dia, com auxílio da equação 5:

$$A = \frac{Q_1}{h} \quad Eq. 05$$

Onde:

A= Área do leito (m²);

Q₁= Vazão do lodo;

h = Lâmina do lodo adotado em 25 cm (valor usual nas metodologias de dimensionamento).

A área total de leitos é calculada com base na quantidade de dias de secagem do lodo, apresentada na equação 6:

$$A_t = A \times \text{dias de secagem de lodo} \quad \text{Eq. 06}$$

A área resultante desse modelo de dimensionamento de leito é relativamente grande, por isso em alguns casos opta-se por utilizar um adensador de lodo, podendo reduzir cerca de 75% a área do leito (NUNES, 2004).

3.3 ALTERNATIVA DE INSTALAÇÃO DE FILTRO PRENSA

O filtro prensa é um dos equipamentos mecânicos mais utilizados com a finalidade de adensamento de lodo, consiste em retirar a umidade presente no efluente, separando então a parte sólida de sua parte líquida.

Um filtro prensa é dimensionado conforme as características do lodo e quantidade gerada. Os filtros são compostos por placas, sendo elas revestidas com telas de pano filtrante, onde o lodo se separará da água.

Porém um filtro prensa é um equipamento muito caro, inviabilizando na maioria das vezes o projeto, e também para o uso de um filtro prensa se faz necessário pelo menos uma pessoa treinada para manusear e fazer as manutenções necessárias.

Conforme NBR 12209 (ABNT, 2011) o desaguamento de lodo por filtro prensa deve seguir:

7.7.3.1 Os filtros prensa devem ser empregados apenas para lodo estabilizados.

7.7.3.2 Os filtros prensa operam por batelada, sendo o ciclo de prensagem típico do equipamento usado, devendo ser fornecido com garantia pelo fabricante.

7.7.3.3 Admite-se obter o teor de sólidos no lodo desaguado de 30 a 45%, quando se tratar apenas de lodo primário digerido por via anaeróbia, de 25 a 40% quando se tratar de lodo misto digerido por via anaeróbia e de 20 a 25% quando se tratar de lodo de digestão aeróbia.

7.7.3.4 A utilização de reagentes, coagulantes e cal, ou de polímeros, é necessária para garantir valores adequados de captura de sólidos e do teor de sólidos na torta de lodo desaguado.

7.7.3.5 O dimensionamento do filtro prensa deve prever uma captura entre 90 a 95% dos sólidos.

7.7.3.6 O efluente líquido do filtro prensa deve ser retornado á entrada da ETE, em cujo dimensionamento devem ser considerados os acréscimos dos sólidos em suspensão não recuperados e da carga orgânica correspondente.

7.7.3.7 No cálculo da massa de sólidos na torta de lodo desaguado, deve ser contabilizado a massa dos reagentes adicionados.

7.7.3.8 Um tanque de alimentação homogeneizado deve ser utilizado antes do desaguamento.

3.3.1 Dimensionamento de filtro prensa

Para cálculo de dimensionamento de filtro prensa faz-se necessário os seguintes dados:

- Vazão do lodo (Ql);
- Densidade do lodo (∂l);
- Densidade da torta (lodo seco) (∂t);
- Concentração de sólidos na torta em percentual que adota-se 30% ou 300 kg/m³ (depois de prensado);
- Número de ciclos do filtro prensa (n);
- Tamanho de placas para filtro prensa (600 x 600 mm conforme fabricante);

Com esses dados pode-se então fazer o cálculo de volume do filtro e posterior o de capacidade do filtro prensa.

$$V_f = \frac{Ql \times \partial l \times Cl}{n^{\circ} \text{ ciclos} \times \partial t \times Ct} \quad Eq. 07$$

Obtido a vazão pode-se então equacionar para chegar a capacidade do filtro prensa, usando a equação 08.

$$C = \frac{Ql_{odo}}{n} \quad Eq. 08$$

De acordo com os dados da fabricante Tecitec (tabela 4), existem filtro com placas de 325 325x 20 mm; até filtros com placas de 1500 x 1500x 35 mm. Cada empresa opta por um tamanho de placa que atenderá suas necessidades.

Essa escolha é feita para que posterior a ela possa se fazer a determinação da quantidade de placas que irá no filtro prensa (equação 9).

$$N = \frac{C}{\text{Volume da câmara}} \quad \text{Eq. 09}$$

Onde N será o tamanho da placa, e o volume da câmara corresponderá a dados do fabricante para ao mesmo tamanho de placa escolhido conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4- Características do filtro prensa.

Modelo	Tamanho da placa (mm)	Espessura da torta (mm)	Volume da câmara (l/cam.)	Área filtrante(m ² /placa)
TTI-FP4	400 X 400	32	3,53	0,26
TTI-FP5	500 X 500	30	5,22	0,3374
TTI-FP6	630 X 630	30	8,72	0,565
TTI-FP8	800 X 800	30	14,34	0,938
TTI-FP1*	1000 X 1000	30	22,76	1,485
TTI-FP2*	1200 X 1200	30	31,92	2,076
TTI-FP7*	1500 X 1500	30	51,78	3,37

Fonte: TECITEC, 2016.

Vale salientar que na utilização de filtro prensa faz-se necessário a adoção de um decantador a fim de eliminar as bacias existentes na empresa. Para possibilitar o dimensionamento tem-se as seguintes equações, conforme quadro 3:

Quadro 3- Fórmulas para decantador primário.

Especificação	Fórmulas
Área do decantador	$A = \frac{Q}{TAS}$
Volume da zona clarificada	$Ve = Q \times td$
Altura da zona clarificada	$H = \frac{Ve}{A}$
Raio do decantador	$A = \pi \times r^2$
Altura da parte cônica	$Tg60 = \frac{h}{r}$
Volume da parte cônica	$Vc = \frac{\pi \times r^2 \times h}{3}$
Volume total do decantador	$Vt = Vc \times Ve$

Fonte:NUNES,2004.

Onde:

Q= Vazão de efluente;

TAS= Taxa de aplicação adotada em 30m³/m².dia;

td= Tempo de detenção;

3.4 PROTÓTIPO DO LEITO DE SECAGEM

Com o intuito de verificar o comportamento do lodo no leito de secagem foi realizado um teste com três bombonas de 20 litros simulando o leito proposto pela empresa.

Primeiramente as camadas propostas em projeto foram reduzidas em seis vezes o seu valor, para que se adaptasse a área da bombona. Sendo assim, o protótipo foi composto por uma camada de macadame 4" e uma camada com o lodo resultante do processo de tratamento de DAM.

As bombonas foram deixadas no local da construção do leito de secagem, sem cobertura (conforme figura 19) para que simule o comportamento do lodo com relação às condições climáticas do local, principalmente variação na temperatura (evaporação) e precipitação pluviométrica (acréscimo de umidade).

Figura 19- Protótipo do leito de secagem.



Fonte: DA AUTORA, 2016.

O experimento foi realizado em triplicata com objetivo de se realizar tratamento estatístico dos dados.

Os dados foram monitorados semanalmente durante um mês, ou seja, uma vez por semana obteve-se uma amostra do lodo para avaliar a umidade.

Os dados do experimento associados ao dimensionamento do projeto conforme as normas técnicas, servirá para parametrizar o projeto elaborado pela empresa e que será implantado, apontando as cargas de lodo que deverão ser dispostas no leito de secagem.

3.5 VIABILIDADE DO PROJETO

Faz-se necessário analisar a viabilidade de implantação de um projeto para conseguirmos visualizar através de números e projeções o real potencial de retorno dos investimentos, sendo que pode-se avaliar se o projeto em análise deve se dar a continuidade ou não.

Os gastos levados em consideração na questão de implantação de projeto de adensamento de lodo, na sua maioria são o custo de transporte do material líquido, ou seja, quando maior a umidade presente no que se quer transportar maior o custo pois, necessitará de mais quantidades de transporte.

Tanto o valor gasto com o leito quando com a possível instalação de um filtro prensa serão comparados para análise de viabilização de instalação e justificar o projeto.

A mina Nova Horizonte tem custos com máquinas para limpeza das bacias, e custo com o transporte do lodo úmido para o aterro.

Deve-se levar em consideração os atuais custos com limpeza e transporte de lodo gerado, fazendo a comparação com os testes de perda de umidade resultantes do protótipo criado para simular um leito de secagem.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS DADOS

A Mina Novo Horizonte gera aproximadamente 1100 m³/dia de drenagem ácida. Além do baixo pH, normalmente próximo de 5,0, esta drenagem apresenta elevada concentração de metais, especialmente ferro, alumínio e manganês. Esta condição de efluente associado ao fato de ser utilizado solução de Ca(OH)₂ como neutralizante, gera 89 toneladas de lodo por mês, aproximadamente.

O lodo *in natura* apresenta-se bastante aquoso e possui um percentual de sólidos de 5 % e uma densidade de 1,1 g/mL, dificultando o seu transporte para o aterro da empresa localizado no Poço 8, Içara/SC.

Com o intuito de aumentar a concentração de sólidos no lodo, e conseqüentemente reduzir gastos com transporte e limpeza das bacias, a empresa optou pela implantação de um leito de secagem. Para se obter parâmetros de trabalho do Leito de Secagem projetado pela empresa, foi monitorado no período compreendido entre 11 de abril e 15 de maio de 2016 os protótipos instalados no pátio da unidade mineira, conforme foi mostrado na figura 19. A tabela 5 mostra os resultados obtidos no protótipo do leito de secagem.

Tabela 5- Variação na concentração de sólidos (média de 3 repetições) em relação ao tempo e clima.

Semana	Concentração de sólidos (%)	Temperatura média do ar (°C)	Volume de chuva (mm)
1 ^a - 11/04 a 17/04	6	24,1	49,8
2 ^a - 18/04 a 24/04	12	26,3	23,4
3 ^a - 25/04 a 01/05	11	16,5	22,3
4 ^a - 02/05 a 08/05	26	18,2	0,0
5 ^a - 09/05 a 15/05	17	18,4	3,6

4.1 Parâmetros operacionais do leito de secagem

O projeto do Leito de Secagem que será construído pela empresa tem as seguintes características:

- Comprimento da célula: 40 metros
- Largura da célula: 12 metros
- Área da Célula do Leito: 480 m²
- Profundidade: 1,50 metros
- Inclinação interna: 1,5%
- N. de células: 01

Os dados obtidos no protótipo foram utilizados para parametrizar o Leito de Secagem projetado pela empresa. Desta forma, podem ser previstas as condições operacionais para o leito de secagem projetado. Os cálculos seguiram as recomendações de Nunes (2004).

Considerando a possibilidade de 1,0 metro de lodo que sai da lagoa de decantação disposta na célula do leito de secagem a cada 15 dias, será possível desaguar neste período até 480 m³ de lodo.

Considerando que a concentração de sólidos no lodo que sai da lagoa é em média 5% (volume adotado para o lodo decantado) e que o Leito de Secagem irá concentrar até 15% (valor obtido da média em função dos dados adquiridos no ensaio de campo), então, o volume de lodo “seco” após 15 dias será dado por:

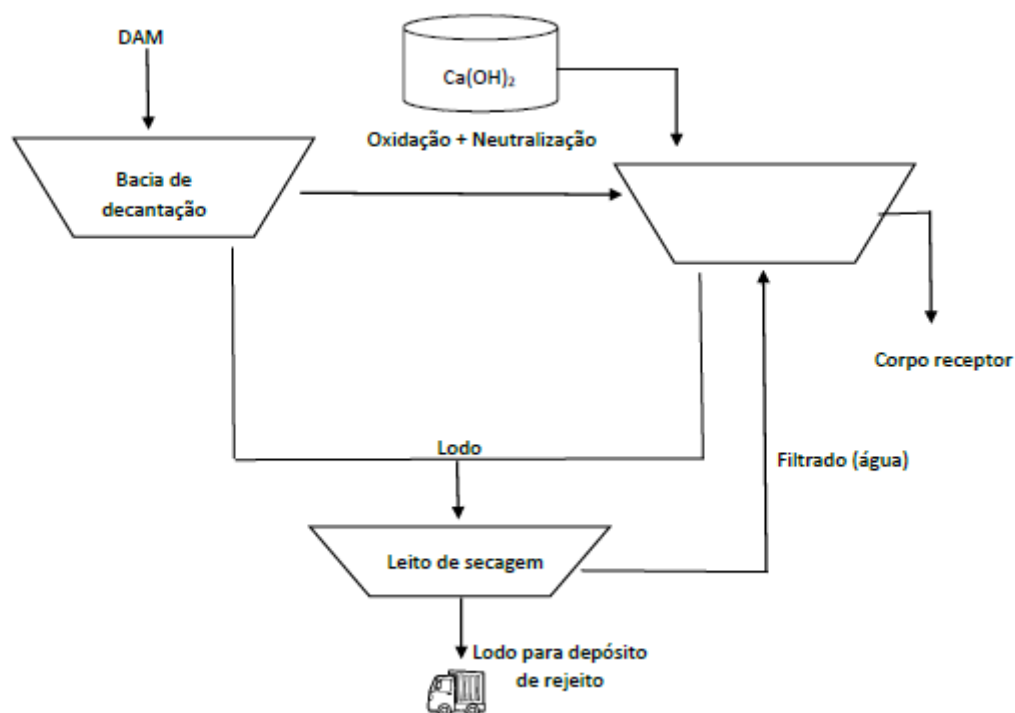
$$480m^3 \times 5\% = V_{lodo} \times 15\%$$

$$V_{lodo \text{ após 15 dias de secagem}} = 160 m^3$$

Para uma densidade de 1,3 g/mL, valor este também obtido no ensaio de campo, a massa de lodo desaguado após o 15 dias de secagem no leito será de 208 toneladas.

A figura 20 apresenta o esquema proposto de desaguamento de lodo por meio de leito de secagem, conforme projeto proposto pela empresa.

Figura 20 - Situação proposta pela empresa.



4.2 Dimensionamento de decantador e filtro prensa

Para avaliar o projeto da empresa (Leito de secagem) com relação à viabilidade econômica, adotou-se como alternativa para fins de comparação, o sistema convencionalmente adotado em estações de tratamento de efluentes com características semelhantes à drenagem da mina Novo Horizonte.

Assim, para avaliar os custos de implantação e de operação do Leito de Secagem, se fez necessário o dimensionamento do sistema de decantação e filtro prensa, para servir de base comparativa com a opção adotada pela empresa.

O dimensionamento levou em conta as propostas das referências adotadas neste estudo, sobretudo de Nunes (2004) e consultas a fornecedores de equipamentos. Importante destacar que nesta opção, descartam-se as bacias de decantação e de acúmulo do lodo.

A figura 21 apresenta um explicativo de como ficaria a nova alternativa. Na tabela 6 são apresentadas as dimensões do decantador necessário para tratamento de 1100m³/dia de efluente.

Figura 21- Situação proposta de filtro prensa.

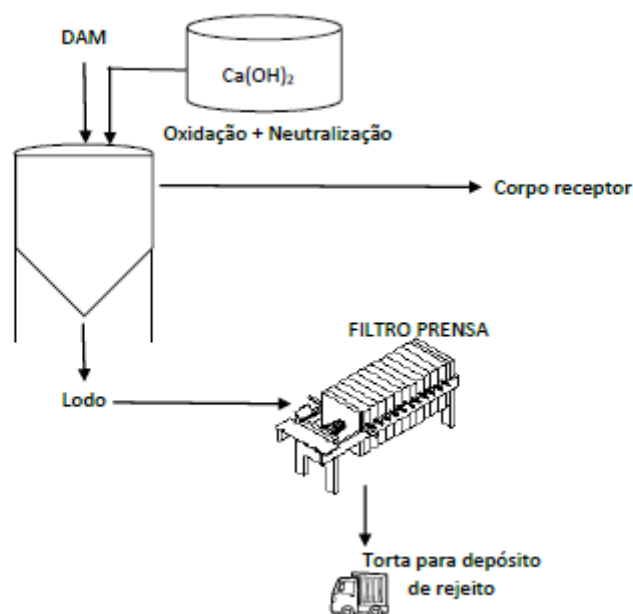


Tabela 6- Resultados dos equacionamentos para dimensionar decantador primário.

Especificação	Resultados
Vazão	1100 m ³ /dia
Taxa de aplicação	30 m ³ /m ² .dia
Tempo de residência	1 hora
Área do decantador	37 m ²
Volume da zona clarificada	47 m ³
Altura da zona clarificada	2 m
Raio do decantador	3,43 m
Altura da parte cônica	5,94 m
Volume da parte cônica	73,2 m ³
Volume total do decantador	120,2 m ³

O efluente entrará no decantador após receber a dosagem de Ca(OH)_2 , apresentando uma concentração de sólidos de 2%, enquanto que o lodo decantado terá 5% do sólido. Com base nesta condição, a vazão de lodo decantado será 440m³/dia, sendo esta, a vazão de entrada no filtro prensa.

Conforme Lampoglia, Lyra e Manzochi (1947), o filtro prensa de placas é composto por placas verticais, mais espessas nas bordas do que na parte central. Essas placas ficam unidas no processo de retirada de umidade, produzindo a chamada torta de lodo.

A alimentação do filtro é feita por bateladas, o tecido filtrante é revestido nas duas extremidades da placa. O enchimento do filtro é feito através de adição de pressão o efluente então é conduzido pelas ranhuras constituídos na placa (NUNES, 2004).

Dados típicos usados em projeto de dimensionamento de filtro prensa segundo Tecitec (2016) são:

- Teor de sólidos na torta – 65 a 75%
- Densidade da torta de 1,3 a 1,4 kg/m³;
- Nº de ciclos: 1 a 3 ciclos por hora

Porém para o dimensionamento do Filtro Prensa para a unidade mineira Novo Horizonte será usado os seguinte parâmetros:

- Nº de ciclos: 2 por hora (considerando que o filtro vai trabalhar 8 horas/dia para desaguar o lodo);
- Vazão de lodo 440 m³/dia;
- Densidade do lodo de 1,13 g/L;
- Teor de sólido no lodo (entrada) de 5%;
- Nº de ciclos em 1 dia: 16 ciclos;
- Densidade da torta de 1,4 g/L;
- Teor de sólidos na torta de 75 %;

Equacionando para se encontrar o volume do filtro obteve-se o volume de 1480 litros (volume útil entre o total de número de placas do filtro ou cada câmara de filtração). Adotando-se um filtro-prensa com placas de 1000 X 1000 mm, cujo volume de uma câmara de filtração é de 22,76 litros (tabela 4), obtém-se um equipamento com 65 placas.

4.3 Viabilidade econômica

Para avaliar a viabilidade econômica para a implantação do leito de secagem (opção 1), os custos e recursos envolvidos no projeto foram comparados

com a alternativa de implantação de um sistema de decantação associado ao filtro prensa (opção 2). A análise realizada neste estudo foi de caráter econômico, buscando assim analisar os gastos para a implantação do projeto elaborado em ambas as situações.

Os dados referentes aos custos do Leito de Secagem foram obtidos no projeto da empresa Rio Deserto. Para o dimensionamento dos custos de implantação da situação 2 (decantador e filtro prensa), tomou-se por base os custos de um projeto implantado recentemente em outra empresa mineradora, denominada no presente trabalho como empresa "A". Os custos foram considerados tomando-se por base a vazão a ser tratada na Empresa Rio Deserto, Mina Novo Horizonte.

Na tabela 7 são apresentados os recursos financeiros necessários para instalação do projeto de leito de secagem (opção 1) e na tabela 8 os recursos necessários para o conjunto formado pelo decantador e filtro prensa.

Tabela 7 - Análise de viabilidade econômica leito de secagem.

CAPEX	Valor (R\$)
Argila	58.867,51
Seixo de rio até 4"	8.840,00
Macadame/Rachão (brita 4")	1.224,00
Bidim	359,00
Tubos de 12" PVC	4.540,00
Curva de 90° tubo de PVC	504,00
Gramma em leiva	2.035,80
Maquina pá carregadeira / escavadeira	500.000,00*
OPEX	
Mão de obra	2.000,00*
Manutenção (valor mensal, maquinas, bombas)	2.500,00*
TOTAL	76.370,00

*valor estimado.

Fonte: RIO DESERTO, 2015.

Tabela 8- Análise de viabilidade econômica filtro prensa.

CAPEX	Valor (R\$)
Investimento (filtro / bomba/ tecidos)	656.250,00
Decantador	30.000,00*
Construção civil / transporte	500.000,00
OPEX	
Mão obra	5.000,00/mês
Energia elétrica	276,46/mês
Manutenção filtro	975,00/mês
TOTAL	1.156.250,00

*valor estimado.

Fonte: Projeto empresa "A" (2016).

Destaca-se que em ambos os casos, ou seja, tanto no sistema lagoas e Leito de Secagem, quanto no sistema decantadores e filtro-prensa, haverá a redução de material transportado para aterro. Esta situação reduz o custo de transporte e disposição do lodo no aterro e não foi considerada no presente estudo.

Especificamente no caso do leito de secagem, que é a situação que será adotada pela empresa, deve ser considerado os seguintes custos operacionais:

- a) A situação atual apresenta um custo operacional de 24 mil reais por mês. Este custo refere-se à remoção do lodo da bacia e disposição temporária num depósito onde é acrescentado rejeito grosso afim de facilitar o manuseio e transporte do material (R\$ 10.000,00/mês). Deve-se considerar ainda que o volume atual de material transportado até a localidade do Poço 8, Içara/SC gera um custo de R\$ 14.000,00, cujo equivale ao transporte de 358 toneladas.
- b) Com a implantação do leito de secagem, será considerado como custo operacional, o valor gasto com a hora/máquina para limpeza da bacia e ao mesmo tempo disposição do material no leito de secagem. Como a máquina para limpeza e disposição pertence a empresa, o valor gasto seria apenas com o diesel, que equivaleria a um valor de 650,00 reais por limpeza, acrescido do transporte do material

com 85% de umidade até o Poço 8, gerando um custo de 8.000,00 R\$ para 208 toneladas do material.

Avaliando-se as vantagens de cada um dos sistemas, as principais vantagens a serem obtidas na instalação do tratamento dotado de decantador e filtro-prensa são: a) desativação das lagoas; b) menor área para a instalação de projeto; c) torta do filtro prensa fica com uma umidade constante depois da saída do filtro, pois, não tem a interferência climática se o resíduo (torta) for estocado em local coberto.

O leito de secagem por sua vez é uma novidade no meio de mineração para desague de lodo e apresentou resultados satisfatórios no ensaio de campo realizado (protótipo). A principal vantagem do leito de secagem frente ao filtro-prensa está no valor do investimento inicial, além do que redução de umidade de forma natural e sem custos de energia e de manutenção de equipamentos.

Conforme os dados da tabela 8, o maior investimento no caso do leito de secagem está associado à aquisição da máquina escavadeira. Como este é um equipamento que as empresas mineradoras dispõem e que fazem parte dos equipamentos do setor de Engenharia e Meio Ambiente das empresas, implica em não precisar desembolsar este valor, em contraponto ao desembolso inicial do decantador e filtro prensa.

Além disso, no caso específico da Mina Novo Horizonte, existe a disponibilidade de área para a construção do leito de secagem, área está contígua à atual bacia de decantação.

Em ambos os casos, tanto lagoa e leito de secagem quanto no decantador e filtro prensa, trazem com vantagem a redução significativa de volume de lodo a ser transportado para aterro, com maior segurança (sob o ponto de vista do controle ambiental) na hora de transportar o material, pois com maior concentração de sólidos o lodo evita de ficar escorrendo do caminhão e contaminando as vias por onde faz o trajeto até o aterro da unidade. Tem-se ainda a melhor gestão do lodo na disposição deste no aterro final.

Destacam-se os custos operacionais comparando-se a situação atual com a situação futura (leito de secagem) resultando na redução de R\$ 24.000,00 para R\$ 8.650,00.

5. CONCLUSÃO

As observações in loco e as análises realizadas em laboratório com o objetivo de analisar a viabilidade da implantação do leito de secagem na empresa Rio Deserto, demonstraram que a implantação do leito irá se comportar bem na presente situação.

O leito comportará um volume de até 480 m³ de lodo proveniente da limpeza das bacias a cada 15 dias, para uma taxa efetiva de remoção de umidade. O lodo transportado para aterro será de 208 toneladas, o que equivale a um volume de 160 m³ de lodo desaguado (retirado do leito após 15 dias). Sendo então que o sistema terá um balanço de massa de entrada de 480m³ e uma saída de 160 m³ de lodo.

Comparado à outra alternativa, o leito de secagem apresenta o menor custo de instalação e de operação, comprovado pela análise econômica. Além disso, a empresa dispõe de área para instalação do leito de secagem, sendo esta área bem próxima a atual bacia de decantação, o que favorece a operacionalização do sistema.

A implantação do projeto reduzirá a umidade do lodo de 5 para 15% (resultados estes comprovados nos testes em laboratório), o que implica na redução direta do número de viagens para transporte do material até o aterro da empresa localizado no Poço 8- Içara/SC em 67%.

Os dados apresentados no ensaio realizado em campo (protótipo do leito de secagem) serviram para se obter a concentração de sólidos no lodo desaguado, além de se avaliar o comportamento em períodos chuvosos.

Um passo a ser considerado observando o comportamento do lodo com os períodos de chuva, é a aquisição de uma lona transparente para que se possa cobrir a área do leito em períodos de chuvas intensas, evitando o transbordo ou até mesmo o aumento de umidade, como se observou no experimento de campo.

Analisando os resultados, nota-se que a perda de umidade em um período de 30 dias reduziu em média 15%, mesmo com alguns períodos de chuvas, porém as temperaturas nesses dias analisados foram elevadas.

Novas possibilidades são geradas a partir da instalação do leito de secagem na empresa, como por exemplo a eliminação de uma bacia. Neste caso, o leito receberia o efluente floculado direto da unidade de tratamento (ETE), sendo a água drenada do leito de secagem direcionada para a bacia de estabilização,

propiciando o futuro reuso da água ou disposição no corpo receptor, desde que a mesma se encontre em conformidade com a legislação ambiental.

Outra vantagem do leito está no payback que a empresa terá com o instalação em comparação ao filtro prensa.

Recomenda-se o estudo da aplicação do lodo desaguado, como transforma-lo em matéria prima para fabricação de algum material menos nobre.

REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12209. **Elaboração de projetos hidráulicos-sanitário de estações de tratamento de esgotos sanitário**. Rio de Janeiro, 2011. 53 p.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004. **Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 70 p.
- ANDREOLI, Cleverson Vitorio (Org.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 257p.
- AVE, Águas do. **Estação de tratamento de águas residuárias: Leito de secagem de lodo**. 2008. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/10767>>. Acesso em: 06 abr. 2016.
- CORDEIRO, João Sergio. Remoção Natural de Água de lodos de ETAs utilizando leitos de secagem e lagoas de lodo. In: REALI, Marco Antônio Penalva (Coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. p. 126.
- GONÇALVES, Ricardo Franci (coordenador). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas, Rede de Pesquisas do Programa em Saneamento Básico (PROSAB)**, UFES: Projeto PROSAB; 1999, 79 p.
- KREBS, Antônio Silvío Jornada; DIAS, Adalberto A.; VIEIRO, Ana Cláudia. **Áreas mineradas para carvão no município de Criciúma- SC**. Porto Alegre: CPRM, 1994. 35p. PROGESC – Série Recursos Minerais – Porto Alegre, v. 2.
- KOPPE, Jair Carlos; COSTA, João Felipe Coimbra Leite. A lavra de carvão e o meio ambiente de Santa Catarina. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 25.
- LAMPOGLIA, Tereza Cristina; LYRA, Pedro Gomes de; MANZOCHI, Luiz Benoni. Projeto de instalação de desidratação de lodo com a utilização de filtros prensa de placas. **Revista Dae: Sabesp**, São Paulo, v. 128, p.69-81,1947. Disponível em: <<http://revistadae.com.br/site/artigo/1299-Projeto-de-instalacoes-de-desidracao-de-lodo-com-a-utilizacao-de-filtros-prensa-de-placas>>. Acesso em: 03 abr. 2016.
- LOPES, Rosana Peoporine; SANTO, Eder Luiz; GALATTO, Sérgio Luciano. Mineração de carvão em Santa Catarina: Geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde (coord.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. p. 51.

MELLO, Jaime W. V. de; DUARTE, Hélio A.; LADEIRA, Ana Cláudia Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 8, p.24-29, 24 abr. 2014.

NUNES, Jose Alves. Desague do lodo. In: NUNES, Jose Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. Aracaju: J. Andrada Ltda., v. 4, 2004. p. 159-174.

NUVOLARI, Ariovaldo (Coor.). As diversas opções de tratamento do esgoto sanitário. In: NUVOLARI, Ariovaldo (Coor.). **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: ABDR, 2003. Cap. 9, p. 340.

POSSA, Mário Valente; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos. Tratamento de Drenagem Ácida de Mina por Processo de Neutralização Controlada. **Centro de Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro, v. 1, p.234-252, 01 mar. 2003.

REALI, Marco Antônio Penalva (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**, Rio de Janeiro: Abes, 1999.233 p.

RIO DESERTO INDUSTRIA CARBONÍFERA. **Projeto de construção bacia de leite de secagem**. Criciúma, 2015. 42 p.

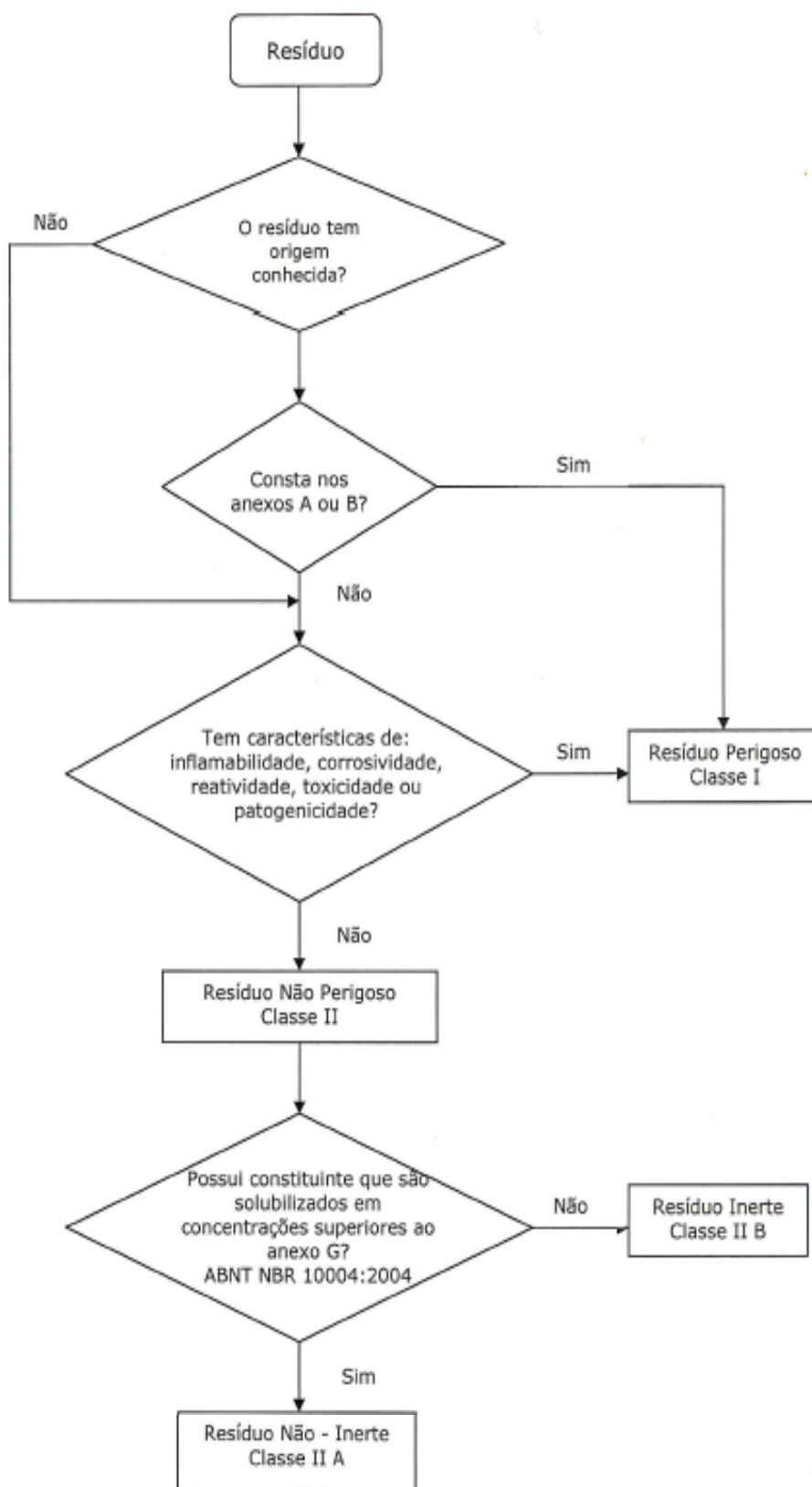
SHNEIDER, Carlos Henrique. Evolução da gestão ambiental na indústria carbonífera em Santa Catarina: um caso de sucesso. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 39.

SILVEIRA, Valmir Roman da. **Tratamento de efluentes da drenagem acida de mina de carvão por precipitação e sedimentação**. 2004. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas e Petróleo, Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TECITEC (São Paulo). **Filtração e tratamento de efluentes**. 2016. Disponível em: <<http://www.tecitec.com.br/>>. Acesso em: 12 maio 2016.

ANEXOS

ANEXO A- Caracterização e classificação dos resíduos conforme NBR 10004:2004



ANEXO B- Anexo F da NBR 10004:2004

Anexo F
(normativo)

Concentração – Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo no lixiviado mg/L	CAS - <i>Chemical Abstrat Substance</i>
Inorgânicos			
Arsênio	D005	1,0	7440-38-2
Bário	D006	70,0	7440-39-3
Cádmio	D007	0,5	7440-43-9
Chumbo	D008	1,0	7439-92-1
Cromo total	D009	5,0	7440-47-3
Fluoreto	D010	150,0 **)	
Mercúrio	D011	0,1	7439-97-6
Prata	D012	5,0 ^{a)}	7440-22-4
Selênio	D013	1,0	7782-49-2
Pesticidas			
Aldrin + dieldrin	D014	0,003 **)	309-00-2; 60-57-1
Clordano (todos os isômeros)	D015	0,02	57-74-9
DDT (p, p' DDT+ p, p' DDD + p, p' DDE)	D016	0,2	50-29-3
2,4-D	D026	3,0	94-75-7
Endrin	D018	0,06	72-20-8
Heptacloro e seus epóxidos	D019	0,003	76-44-8
Lindano	D022	0,2	58-89-9
Metoxicloro	D023	2,0	72-43-5
Pentaclorofenol	D024	0,9	87-86-5
Toxafeno	D025	0,5 ^{a)}	8001-35-2
2,4,5-T	D027	0,2 **)	93-76-5
2,4,5-TP	D028	1,0 ^{a)}	93-72-1
Outros orgânicos			
Benzeno	D030	0,5 ^{a)}	71-43-2
Benzo(a) pireno	D031	0,07	50-32-8

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo no lixiviado mg/L	CAS - <i>Chemical Abstrat Substance</i>
Outros orgânicos			
Cloreto de vinila	D032	0,5	75-01-4
Clorobenzeno	D033	100 ^{*)}	108-90-70
Clorofórmio	D034	6,0 ^{*)}	67-66-3
Cresol total ^{***)}	D035	200,0 ^{*)}	
o-Cresol	D036	200,0 ^{*)}	95-48-7
m-Cresol	D037	200,0 ^{*)}	108-39-4
p-Cresol	D038	200,0 ^{*)}	106-44-5
1,4-Diclorobenzeno	D039	7,5 ^{*)}	106-46-7
1,2-Dicloroetano	D040	1,0	107-06-2
1,1-Dicloroetileno	D041	3,0	75-35-4
2,4-Dinitrotolueno	D042	0,13 ^{*)}	121-14-2
Hexaclorobenzeno	D021	0,1	118-74-1
Hexaclorobutadieno	D043	0,5 ^{*)}	87-68-3
Hexacloroetano	D044	3,0 ^{*)}	67-72-1
Metiletilcetona	D045	200,0 ^{*)}	78-93-3
Nitrobenzeno	D046	2,0 ^{*)}	98-95-3
Piridina	D047	5,0 ^{*)}	110-86-1
Tetracloroeto de carbono	D048	0,2	56-23-5
Tetracloroetileno	D049	4,0	127-18-4
Tricloroetileno	D050	7,0	79-01-6
2,4,5-Triclorofenol	D051	400,0 ^{*)}	95-95-4
2,4,6-Triclorofenol	D052	20,0	88-06-2
<p>*) Parâmetros e limites máximos no lixiviado extraídos da USEPA - <i>Environmental Protection Agency 40 CFR - Part 261 - 24 - "Toxicity Characteristics"</i>.</p> <p>***) Parâmetro e limite máximo no lixiviado mantido, extraído da versão anterior da ABNT NBR 10004:1987.</p> <p>***) O parâmetro Cresol total somente deve ser utilizado nos casos em que não for possível identificar separadamente cada um dos isômeros</p> <p>NOTA Os demais poluentes e limites máximos no lixiviado deste anexo foram baseados na Portaria nº 1469/2000 do MS, multiplicados pelo fator 100.</p>			

ANEXO C- Anexo G da NBR 10004:2004

Anexo G
(normativo)

Padrões para o ensaio de solubilização

Parâmetro	Limite máximo no extrato mg/L
Aldrin e dieldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Alumínio	0,2
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Clordano (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-4}$
Cloreto	250,0
Cobre	2,0
Cromo total	0,05
2,4-D	0,03
DDT (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-3}$
Endrin	$6,0 \times 10^{-4}$
Fenóis totais	0,01
Ferro	0,3
Fluoreto	1,5
Heptacloro e seu epóxido	$3,0 \times 10^{-5}$
Hexaclorobenzeno	$1,0 \times 10^{-3}$
Lindano (γ -BHC)	$2,0 \times 10^{-3}$
Manganês	0,1
Mercúrio	0,001
Metoxicloro	0,02

Parâmetro	Limite máximo no extrato mg/L
Nitrato (expresso em N)	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Sódio	200,0
Sulfato (expresso em SO_4)	250,0
Surfactantes	0,5
Toxafeno	$5,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-T	$2,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-TP	0,03
Zinco	5,0

ANEXO D- Procedimento de limpeza das bacias e leito de secagem**PROCEDIMENTO**

Assunto/Título: TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA	Revisão: 00	Código/N.º: PO 01 2016
	Vigência: 01.AGO.16	Página: 1/2

1. OBJETIVO

Este procedimento orienta a correta limpeza das bacias de decantação/equalização e sedimentação do efluente de drenagem acida de mina proveniente do subsolo da mina nova horizonte, bem como a correta manutenção do leito de secagem.

2. INCIDÊNCIA

Abrange a Unidade Nova Horizonte

3. DEFINIÇÕES**3.1. Bacia de decantação**

O efluente bruto, formado principalmente pela drenagem da mina, e quando da ocorrência de precipitação pluviométrica, também pelas águas de escoamento do pátio, é conduzido a uma bacia de captação que tem a função de equalizar as condições do efluente e também de propiciar a decantação de material mais grosseiro.

O processo de tratamento consiste na simples decantação do material na bacia de sedimentação, com adição de hidróxido de cálcio para neutralização.

4. OPERACIONALIZAÇÃO

4.1. A limpeza das piscinas de decantação e sedimentação deve ser realizada quadrimestralmente pelo operador de pá carregadeira devidamente treinado, de modo a permitir o correto funcionamento do sistema e evitar transbordos, sendo que o lodo retirado

Elaborado por: Thays de Aguiar Rodrigues	Aprovação: Rosimerl Venâncio Redivo
Verificado por: Everton Conti Pertele	

CódigoN.º:	Vigência:	Revisão:	Página:
PO 01 2016	01.AGO.16	00	2/2

deve ser colocado no leito de secagem, para diminuir a umidade acumulada (de modo a facilitar o posterior transporte até o destino final), localizado ao lado da própria piscina de decantação. A limpeza deve ser realizada com retro escavadeira (ou similar), na qual o operador recolhe o lodo decantado da bacia, deixando escorrer um pouco do líquido para posteriormente descarregá-lo no leito de secagem.

4.2. Após um período de 4 meses, com auxílio de pás carregadeiras e caminhões o lodo armazenado no leito de secagem deve ser retirado e transportado para o depósito de rejeito da empresa, localizado no poço 8, Içara/SC. As determinações e orientações de limpeza ficam a cargo do Supervisor Técnico e Analista Ambiental da unidade.

4.3 No leito de secagem, o lodo deve ser disposto em toda a área do leito. Cabe ressaltar que o leito de secagem deve ser utilizado como uma maneira de retirar o excesso de umidade, na qual o lodo fica armazenado neste local até que apresente condições físicas para ser transportado até seu destino final e não ocasione impactos negativos ao meio ambiente.

O transporte de lodo até o destino final (depósito de rejeito da unidade) fica condicionado somente a caminhões licenciados pelo órgão ambiental (sob supervisão do Analista ambiental), sendo que o transporte externo deve ser acompanhado de nota fiscal e manifesto de transporte de resíduos.

4.4 A manutenção do leito deve ser realizada de modo a avaliar as seguintes questões:

- Se há foco de erosões nos taludes, com risco de comprometimento dos mesmos;
- A eficiência de impermeabilização dos taludes;
- Integridade dos sistemas de isolamento;
- Condições das tubulações e conexões.