

A argila bentonítica atuando como impermeabilizante em base de aterros sanitários

The bentonite clay acting as waterproofing on the basis of landfill areas

B. L. Farace^{1,*}; F. M. R. Silveira²; F. N. De J. Guedes³

^{1, 2} Graduanda Engenharia de Minas, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil

³ Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e dos Materiais, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade - MG, Brasil

*brunnalfarace@gmail.com

Resumo

A regulamentação brasileira de aterros sanitários estabelece que a disposição de resíduos seja feita no menor espaço possível, de modo que os danos à saúde pública e ao meio ambiente sejam os menores possíveis. Devido às irregularidades no tratamento e acomodação de resíduos, é necessário manter e garantir a impermeabilização das bases de aterros. Esse estudo propõe, por meio de uma sistemática revisão, verificar como ocorre a vedação com uso de argila bentonítica e quais os fatores influem na sua ação impermeabilizante, a fim de avaliar a eficácia da sua utilização. Para fundamentá-lo, artigos classificados de acordo com palavras-chave foram ponderados como elegíveis e avaliados. Posteriormente, simulou-se um aterro, por meio do uso de baldes que representavam valas. Assim, foram aplicadas: uma camada de argila, uma camada de solo e chorume. Para comparar o grau de impermeabilização, foram usadas camadas de argila de espessuras variadas, solo comum e esterilizado. Foram coletadas amostras de chorume bruto e de líquidos percolados para a realização de ensaios e com os resultados obtidos, tabelas foram confeccionadas para facilitar a interpretação. Ao término, constatou-se que uma boa impermeabilização ocorreu com o emprego de 2,0 cm de argila ativada com uso de carbonato de sódio.

Palavras-chave: Impermeabilização, Argila Bentonítica, Aterro Sanitário.

.....

The Brazilian regulation for landfill establishes that the disposition of the solid waste must be done in the shorter space possibly, remembering that it shouldn't damage public healthy neather the environment. Due to the amount of irregularities in the Brazilian's system of waste treatment and accommodation, it is really necessary to maintain and guarantee the waterproofing of the landfill foundation. This study aims, throw a great revision, to analyse and to study how and what are the bentonite clay components and properties, which allows and justify its waterproofing action. To support this review, many articles have been considered, and - after a first classification with the keyword - it was ponderated as eligible and evaluated. Afterwards, a landfill was simulated with a tub that represents a 'ditch' where layers of clay, soil and manure were applied. In this process were used different thickness of clay's layers and a common type of soil sterilized. Then some manure samples and percolated liquids were collected for the trials and the results are shown in tables here. At the end it was observed that it is possible to obtain a good waterproof property with 2,0 centimeters of activated clay and sodium carbonate.

Keywords: Waterproofing, Bentonite clay, Lanfill areas.

1 INTRODUÇÃO

O século XX foi caracterizado pela popularização do modelo de produção fordista que contribuiu para a alteração do modo de consumo social. O consumo se intensificou e a geração de resíduo também. Esse fato é um problema devido à existência de resíduos em excesso e ao descarte inadequado dos mesmos, o que afeta a qualidade de vida das populações e degrada o ambiente.

É preciso modificar o modo de acomodar os rejeitos. A necessidade da sociedade moderna é sanar a problemática de imediato, ou pelo menos, reduzi-la a fim de evitar maiores transtornos. Dessa forma, com o intuito de depositar os resíduos adequadamente sem interferir nas camadas inferiores adjacentes, o atual estudo propõe a avaliação da viabilidade do uso de argila bentonítica para manter a vedação na base do aterro sanitário, uma alternativa que possui considerável duração e objetiva mitigar os impactos socioambientais. Para isso, é preciso conhecer e analisar os valores atribuídos aos parâmetros de pH, sólidos sedimentáveis, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), condutividade e presença de *Escherichia coli*.

Sabe-se que a argila é composta por minerais microscópicos e de elevada impermeabilidade. Por esse motivo, possui características singulares, como a facilidade de ser moldada com água e a dificuldade de desagregação. Bentonitas são formadas por argilominerais, isto é, minerais constituídos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, podendo conter elementos alcalinos como: sódio, potássio e alcalinos terrosos (cálcio e magnésio). As argilas podem apresentar-se na forma sódica, cálcica ou policatiônica, dependendo de qual cátion é mais predominante em sua constituição interplanar (AMORIM et al., 2006). São caracterizadas por pertencer ao grupo das Esmectitas, do qual fazem parte a montmorilonita, entre outros e formadas pela desvitrificação e subsequente alteração química de tufos e vidros vulcânicos. Este argilomineral controla a permeabilidade pela hidratação, expansão e separação do espaço intercamadas entre as lâminas superpostas, criando caminhos tortuosos, longos e obstruídos para o fluxo.

As placas da montmorilonita são pouco espessas, têm feição irregular e tendem a se agrupar durante a secagem. O empilhamento dessas finas placas é realizado por forças polares fracas e por forças de Van Der Waals, que variam inversamente com a distância de separação entre as lamelas. As forças aumentam com a diminuição da distância de separação entre as lamelas e vice-versa. O espaço entre as placas é chamado de galerias ou de camadas intermediárias/interlamelares. Nele há água e cátions livres (como Na^+ , Ca^{2+} , Li^+) os quais são responsáveis pelo empilhamento da estrutura lamelar e são passíveis de troca (BARBOSA, 2009).

A natureza dos cátions presentes pode determinar o comportamento da argila, como por exemplo; se na estrutura estiverem presentes cátions Na^+ a argila pode se expandir e absorver água, enquanto que, se o cátion for Ca^{2+} , a quantidade de água que penetra entre as lamelas é limitada de modo que essas não se expandem e continuam unidas umas às outras por interações eletrostáticas. Por sua vez, o cátion Ca^{2+} , ou até mesmo outro cátion bivalente como o Mg^{2+} , proporciona ao meio mais carga positiva e pode funcionar como um floculador, capaz de unir as partículas (e não contribuir para sua separação), ao diminuir a repulsão entre as mesmas (BARBOSA, 2009).

A elevada afinidade da bentonita com água e sua considerável capacidade de expansão são propriedades que conferem resistência à passagem de água. Em condições

confinadas, as partículas expandidas são forçadas entre si para preencher os vazios entre as partículas do solo, constituindo uma barreira contra a passagem do fluxo (GLEASON et al., 1997 apud CAMARGO, 2012).

O grau de deformação da argila, até entrar em rotura, aumenta de modo progressivo até certo valor em função do conteúdo de água. A água funciona como lubrificante que facilita e permite o deslizamento das partículas umas sobre as outras sempre que há tensão superficial (MEIRA, 2001).

A fim de cumprir a regulamentação brasileira de aterros sanitários, no que diz respeito à forma de acomodar os resíduos, um dos materiais que tem esse potencial, como dito, é a argila bentonítica, que além de ter alta plasticidade e capacidade de trocar cátions, é pouco permeável, o que permite ser uma alternativa impermeabilizante aplicável em aterros.

A seguir serão detalhados os materiais, métodos, ensaios e análises que foram feitos para verificar a viabilidade da aplicação da argila bentonítica em aterros sanitários.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Simulação do aterro sanitário e coleta de amostras de solo e chorume

Para estudar a viabilidade da aplicação de argila bentonítica como impermeabilizante em aterros sanitários, foi realizada a simulação de um aterro, onde em valas, representadas por vasos plásticos com 20 centímetros de diâmetro e 30 centímetros de altura, que continham em seu fundo furos de 1 centímetro de diâmetro, foram aplicadas camadas de argila de espessura variada (1,0 cm, 1,5 cm e 2,0 cm). Em seguida, adicionou-se aos baldes solo comum e chorume bruto, ambos coletados no Aterro Sanitário do Consórcio Público de Gestão de Resíduos Sólidos das cidades de Nova Era, João Monlevade, Rio Piracicaba e Bela Vista de Minas, localizado entre João Monlevade e Rio Piracicaba, em Minas Gerais.

A simulação do aterro foi realizada com a finalidade de executar os ensaios laboratoriais, seguindo a mesma metodologia para cada parâmetro:

- 1ª análise: chorume bruto coletado no aterro.
- 2ª análise: chorume após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 1,5 cm de argila.
- 3ª análise: chorume após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 2,0 cm de argila.
- 4ª análise: chorume após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 2,0 cm de argila ativada com carbonato de sódio.

2.2 Preparação do material a ser empregado nos ensaios e esterilização do solo a ser utilizado para fins de comparação

Para realizar a comparação dos resultados sem que houvesse qualquer tipo de influência dos microorganismos, foram utilizados dois tipos de solo: o solo coletado no



Figura 1 – Esboço da simulação de aterro sanitário realizada.

aterro e, este mesmo solo, porém esterilizado a uma temperatura de aproximadamente 110°C por 40 minutos.

O solo esterilizado foi depositado nos baldes após secagem da argila e sua quantidade bem como a do chorume despejado foram determinados obedecendo às proporções existentes no aterro sanitário, seguindo as informações obtidas na revisão de literatura e na pesquisa de campo realizada.

Ressalta-se que tais proporções foram disponibilizadas pelo Consórcio Público de Gestão de Resíduos Sólidos das cidades de Nova Era, João Monlevade, Rio Piracicaba e Bela Vista de Minas e constitui-se como um arquivo privado.

A representação do experimento simulando as condições do aterro sanitário foi ilustrada na Figura 1.

Antes de aplicar a argila em pó nos baldes, hidratou-se a mesma com água (Figura 2). Sabe-se que com o manuseio abrupto, surgem nuvens de pó, porém a quantidade de pó perdida é mínima, por isto durante 30 minutos ininterruptos, misturou-se de maneira cuidadosa a argila bentonítica em pó à água até que a mescla adquirisse consistência pastosa, tendente a semidura e não esfarelada. Após o descanso de 4 horas, repetiu-se o processo e em seguida fez-se a sua aplicação nos baldes.

2.3 Utilização de água purificada, estudo do escoamento e avaliação da impermeabilização do argilomineral

Pelo fato de a bentonita ter uma hidratação diferenciada dependendo da natureza do líquido em contato, cada vala, independente de conter solo esterilizado, recebeu 3,5l de água ultrapurificada. Para obtenção dessa água, foi realizado o tratamento por osmose reversa, que “é um processo que permite a remoção dos sólidos dissolvidos de um determinado efluente por meio da filtração através de uma membrana semipermeável” (CLAAS; MAIA, 1994). O uso desse tipo de água em particular é o mais indicado por impedir a influência da própria água nos ensaios realizados, já que o processo de osmose reversa é capaz de separar a água de seus contaminantes, o que possibilita obter um resultado mais exato e real.

Após este processo de purificação da água, a mesma foi imediatamente despejada sobre o solo para que não houvesse alteração nos ensaios analíticos e após o escoamento, foi coletada e destinada à análise laboratorial. Desta forma, a quantidade de água despejada na hidratação foi suficiente para encharcar o solo e gerar um escoamento em quantidade



Figura 2 – Foto ilustrativa do processo de ativação da argila bentonítica.

suficiente para ser analisada.

2.4 Coleta e envio do chorume bruto e dos líquidos percolados advindos das valas de 1,5 cm de argila aos laboratórios terceirizados

O chorume bruto diretamente coletado no aterro sanitário foi destinado à realização de ensaios em laboratórios terceirizados e especializados (inicialmente a Bioanálise e, posteriormente, a Ecoar, ambos os laboratórios situados em João Monlevade) para avaliação da presença de bactérias *Escherichia coli* e verificação dos valores para os parâmetros como pH, sólidos sedimentáveis, DBO, DQO e condutividade.

Quanto aos líquidos resultantes da percolação, após o despejo da água, esses foram coletados da vala que continha solo comum e da que continha solo esterilizado, ambas com 1,5 cm de espessura de argila em seu interior. O tempo esperado para a percolação total do material destinado a coleta foi de 1 hora. O material foi armazenado em recipientes etiquetados, esterilizados, hermeticamente fechados e, posteriormente, acondicionados em caixas apropriadas, seguindo todos os procedimentos necessários adequados à amostragem, sendo enviado aos laboratórios terceirizados anteriormente citados. Esse material percolado foi analisado com base nos mesmos seis critérios adotados para análise do chorume bruto. Tais estudos foram executados dentro do prazo de validade estabelecido segundo a metodologia da 21^a edição do livro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2015), informada pelos laboratórios.

2.5 Recolhimento dos líquidos percolados provenientes das valas de 2,0 cm de espessura de argila e posterior análise

Foram feitas novas análises e o material analisado foi o líquido que escoou coletado da vala de solo esterilizado e da vala de solo comum, porém dessa vez as valas tinham camadas de 2,0 cm de argila bentonítica em seu interior. Decidiu-se, por meio de considerações e estudos teóricos, avaliar nesse segundo momento, as características do material procedente das valas com maior espessura de argila para verificar o grau e forma de ocorrência da

impermeabilização nesta situação. Os ensaios executados foram exatamente os mesmos para que a comparação e, a partir dela, a interpretação e inferência de conclusões fosse confiável. Além disso, as análises apresentavam conformidade com a metodologia da 21ª edição do livro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2015). Salienta-se que se utilizou o material proveniente do balde com 1,0 centímetro de argila para avaliar as características do chorume.

2.6 Processo de ativação da argila bentonítica com uso de carbonato de sódio

De posse dos resultados das análises e com objetivo de otimizá-los, novamente, recorreu-se à literatura especializada que guiou a realização do procedimento relatado a seguir. A partir deste novo estudo teórico, realizou-se a ativação da argila bentonítica, conforme ilustra a Figura 2, por meio do tratamento químico com uso de carbonato de sódio (Na_2CO_3), visto que a argila bentonítica apresenta predominância de íons cálcio, ocorrendo troca catiônica e mudança dos cátions interlamelares de Ca^{2+} por Na^+ , sendo que o íon Na^+ hidratou-se mais que o Ca^{2+} , conforme mostrado a seguir:



Repetiu-se o mesmo processo para simulação do aterro sanitário, porém, desta vez, borrifando na argila bentonítica aplicada em cada vala, uma solução de 250 mL de carbonato de sódio com água.

Este procedimento de ativação foi feito para atender a necessidade advinda da criteriosa análise dos resultados anteriores obtidos, assim sendo, a percolação anteriormente avaliada não foi influenciada por essa ativação.

2.7 Recolhimento dos líquidos percolados das valas de 2,0 cm de espessura de argila ativada e envio ao laboratório terceirizado

Das valas de 2,0 cm de argila ativada tanto de solo comum quanto de solo esterilizado, foram coletados os líquidos escoados destinados às análises a serem feitas pelo laboratório terceirizado especializado. A coleta do material foi feita com os devidos cuidados para não comprometer as etapas seguintes de avaliação do estudo. A metodologia utilizada foi a mesma dos estudos laboratoriais anteriores, 21ª edição do livro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2015) e o prazo de validade para realização dos ensaios foi obedecido de modo adequado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação entre os dados e interpretação dos resultados

A partir da montagem da simulação do aterro sanitário e considerando os seis critérios avaliados durante esse estudo, os vários resultados obtidos foram devidamente analisados e discutidos.

3.1 Hidratação e expansão da argila

Tendo em vista que a função principal da argila é servir, neste caso, como barreira hidráulica, a sua hidratação e expansão são parâmetros importantes para o seu bom

desempenho. Por esse motivo, antes de aplicada, a argila em pó foi inicialmente ativada com água e, posteriormente, devido a eficácia comprovada em outros estudos (salientados adiante), foi ativada com carbonato de sódio. Isso justifica-se, já que a bentonita contém pequenos poros, o que implica na necessidade de pequenas dilatações para ser capaz de servir como barreira.

A bentonítica possui partículas muito pequenas de silicatos de alumínio hidratado, que se constituem como argilominerais, e apresenta um empilhamento de lamelas, exibindo alta capacidade de troca de cátions. “A capacidade de troca catiônica é uma propriedade muito importante das argilas, pois, pela troca de cátions pode-se modificá-las quimicamente, influenciando diretamente sobre suas propriedades físico-químicas. A hidratação dos cátions interlamelares gera o acúmulo de moléculas de água no espaço interlamelar das argilas e seu consequente inchamento, aumentando as distâncias interlamelares” (TEIXEIRA-NETO; TEIXEIRA-NETO, 2009).

3.2 Ativação da argila com uso do carbonato de sódio (Na_2CO_4)

Inicialmente, a argila havia sido apenas hidratada com água, porém, baseando-se na leitura de diversos artigos sobre a eficiência do uso da argila ativada como material de vedação, resolveu-se testar a ativação da argila com o emprego de carbonato de sódio. Nesse processo, a bentonita passa de cálcica para sódica e isso é fundamental para sua eficiência, pois as bentonitas sódicas adsorvem água de modo contínuo, inchando e aumentando seu volume até a completa esfoliação de suas lamelas em água, enquanto, as bentonitas cálcicas não se esfoliam em suspensão aquosa, o inchamento que ocorre é pequeno e as partículas precipitam rapidamente.

Embora a ativação de argilas bentoníticas cálcicas com carbonato de sódio não permita obter especificamente as propriedades da argila bentonita sódica natural, devido ao maior grau de pureza que essa apresenta, esse método possibilita a obtenção de um material com características intermeadiárias entre a bentonita ativa e a não ativada.

O uso específico do carbonato de sódio se deve ao fato de que “a quantidade de filtrado obtido em lama tixotrópica é influenciada pela presença do íon sódio nas camadas octaédricas da argila, por isso a necessidade de ativar essas argilas com carbonato de sódio, melhorando também outras propriedades como: inchamento e viscosidade” (CLAUDINO et al., 2007).

3.3 Obtenção de resultados e sua interpretação

3.3.1 Análise do chorume bruto

As Tabelas 1 e 2 expõem os resultados dos ensaios realizados com o chorume bruto após coleta no aterro sanitário.

Para os parâmetros particulares de pH e sólidos sedimentáveis, o chorume bruto encontra-se dentro do padrão esperado (COPAM/CERH, 2008). Porém, pelo fato de os valores obtidos para DBO e DQO estarem expressivamente elevados, conclui-se que o chorume não está, de modo geral, em conformidade com o padrão de lançamento descrito no capítulo V da normativa. Dessa forma, a impermeabilização deve ser significativa para não permitir a passagem do conteúdo contaminado.

O elevado valor de DBO encontrado na amostra de chorume bruto sinaliza a alta quantidade de matéria orgânica presente no meio, o que possivelmente levou a decomposição

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados para chorume bruto.

Parâmetros	Chorume Bruto		
	Padrão	Unidades	Resultado
pH	6 a 9	-	8,4
Sólidos sedimentáveis	Até 1	mL/L	0,2
DBO	Até 60	mg/L	604
DQO	Até 180	mg/L	4734
Condutividade	-	-	17971

Padrão estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH N° 01 de 05 de Maio de 2008 - Efluentes. (Grau de confiança de 95,54% com fator de abrangência K=2). Fonte: Laboratório terceirizado especializado.

Tabela 2 – Resultados quanto à presença de *E. coli* para o chorume bruto.

Parâmetros	Chorume Bruto		
	Padrão	Unidades	Resultado
Bactérias <i>Escherichia coli</i>	-	MNP/100mL	12

Padrão estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH N° 01 de 05 de Maio de 2008 - Efluentes. (Grau de confiança de 95,54% com fator de abrangência K=2). Fonte: Laboratório terceirizado especializado.

anaeróbia e comprometeu a qualidade do chorume analisado. Como observado na tabela, o valor de DQO é superior ao de DBO e isso é esperado, tendo em vista que também se oxidam por este método as substâncias não biodegradáveis. “Os elevados valores de DQO e DBO sugerem que o chorume seja, na realidade, constituído por uma mistura daqueles produzidos por lixos em diferentes estados de decomposição” (SISINNO; MOREIRA, 1996).

A relação entre DBO e DQO é indicativa da qualidade da água, já que avalia a biodegradabilidade do tratamento do efluente. A razão entre esses dados de acordo com a tabela acima é de aproximadamente 0,13, o que refere a um efluente de difícil tratamento biológico, uma vez que o valor obtido é inferior a 0,2.

3.3.2 Análise do chorume após tratamento da vala com 1,5 cm de argila

A Tabela 3 mostra os resultados das análises a partir do chorume, após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 1,5 cm de argila.

Tendo em vista que as condições de avaliação e a espessura da camada de argila bentonítica eram as mesmas para ambas as valas, a diferença existente entre os valores observados, deve-se à distinção da natureza dos solos presentes em cada vala. A presença de solo esterilizado em uma das valas impede a influência do solo nos resultados obtidos, o que possibilita tê-los mais próximos do real.

Nos dois dados obtidos, o líquido percolado não está em conformidade com o padrão estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH MG. Para o chorume, após tratamento da vala com solo comum, isso é explicado pelos elevados valores de sólidos

Tabela 3 – Resultados analíticos para os percolados.

Parâmetros	Chorume após tratamento	
	Vala com solo comum	Vala com solo esterilizado
<i>Escherichia coli</i>	610000 MNP/100mL	92000 MNP/100mL
pH	8,3	7,7
Sólidos sedimentáveis	10 mL/L	4 mL/L
DBO	4,6 mg/L	293 mg/L
DQO	335 mg/L	1105 mg/L
Condutividade	2176	3851

Padrão estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM / CERH N° 01 de 05 de Maio de 2008 - Efluentes. (Grau de confiança de 95,54% com fator de abrangência K=2). Fonte: Laboratório terceirizado especializado.

sedimentáveis e DQO, enquanto que para o proveniente da vala com solo esterilizado se justifica nos valores consideráveis de sólidos sedimentáveis, DBO e DQO.

De acordo com a Tabela 3 de resultados obtidos, há uma pequena variação do valor de pH do chorume bruto e do pH do chorume proveniente da vala que apresentava solo comum, contudo, ambos se apresentaram ácidos. Para esse parâmetro, o valor que apresenta maior diferença aos demais é o correspondente ao chorume derivado da vala de solo esterilizado, porém, permaneceu ácido.

Outro fator importante é que embora as coletas tenham sido realizadas cuidadosamente, verificou-se o aumento da presença de *Escherichia coli* comparando o chorume bruto (Tabela 1) a ambos os chorumes após o tratamento (Tabela 3). Isso pode ser explicado, nesse caso, com base no tempo decorrido entre a percolação e a coleta do material que, provavelmente, propiciou a proliferação de bactérias no meio, já que as condições de umidade, pH e temperatura eram favoráveis para permitir tal crescimento. Após o armazenamento do material nos tubos esterilizados destinados à realização da análise, a proliferação de bactérias cessa, pois o meio não permite.

Observando na tabela acima os valores relativos à presença de *Escherichia coli* para os chorumes após tratamento, constata-se menor valor atribuído ao chorume proveniente da vala que continha solo esterilizado, o que é justificável devido ao processo de esterilização que, por eliminar a vida microbiológica existente no solo, impede a influência deste nos resultados.

3.3.3 Análise do chorume após tratamento da vala com 2,0 cm de argila

Os valores dos ensaios feitos com uso do chorume após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 2,0 cm de argila são apresentados na Tabela 4.

Na situação apresentada, não foi detectada a presença de *Escherichia coli* no chorume após tratamento proveniente da vala com solo esterilizado, enquanto para o da vala com solo comum o valor é muito inferior ao correspondente na Tabela 3. Isso permite afirmar que a impermeabilização nessa situação, em que se utiliza maior espessura da camada de argila, foi mais eficaz, uma vez que os contaminantes ficaram retidos, como proposto no estudo.

Tabela 4 – Resultados analíticos para chorume percolado.

Parâmetros	Chorume após tratamento	
	Vala com solo comum	Vala com solo esterilizado
<i>Escherichia coli</i>	11 UFC/100mL	AUSENTE
pH	7,32	7,11
Sólidos sedimentáveis	24 mL/L	6,5 mL/L
DBO	28,9 mg/L	64,3 mg/L
DQO	381 mg/L	192 mg/L
Condutividade	1029,5 μ S/cm	653,4 μ S/cm
Temperatura	21,8°C	22°C

Fonte: Laboratório terceirizado especializado.

A condutividade auxilia também na explicação da satisfatória eficiência em vedação, pois, verificando os resultados das Tabelas 3 e 4, nota-se redução expressiva do valor de condutividade para ambos os chorumes coletados. Isso ocorreu devido ao fato de a bentonita absorver mais água, já que possui maior espessura, propiciando uma expansão de modo mais significativo, o que permitiu a existência de uma barreira de argila mais resistente e impermeável, atendendo ao objetivo do estudo. Essa barreira foi a responsável por impedir a passagem dos contaminantes e contribuir para o acentuado decréscimo da condutividade hidráulica, que diminui pela influência do aumento da matéria orgânica presente no meio, auxilia na retenção de água nos solos e é responsável, em grande parte, pelo aumento da capacidade de troca catiônica do solo. Com o tempo, naturalmente, houve aumento da matéria orgânica presente no chorume, já que se observa aumento em sólidos sedimentáveis.

3.3.4 Análise do chorume após tratamento da vala com 2,0 cm de argila ativada com carbonato de sódio

A Tabela 5 exibe os resultados da análise laboratorial na qual utilizou-se chorume após tratamento proveniente da vala que continha solo comum e da vala que continha solo esterilizado, ambas com 2,0 cm de argila ativada com Na_2CO_3 .

Tabela 5 – Resultados analíticos para o líquido percolado.

Parâmetros	Chorume após tratamento	
	Vala com solo comum	Vala com solo esterilizado
<i>Escherichia coli</i>	AUSENTE	AUSENTE
pH	7,71	7,7
Sólidos sedimentáveis	110 mL/L	15 mL/L
DBO	6,9 mg/L	2,1 mg/L
DQO	59 mg/L	83 mg/L
Condutividade	10422 μ S/cm	5563 μ S/cm
Temperatura	23,4°C	23,4°C

Fonte: Laboratório terceirizado especializado.

De acordo com a Tabela 5, nota-se ausência de *Escherichia coli*, o que é relevante, pois a presença de contaminantes na água revela o risco do seu consumo e a necessidade

de adotar medidas de controle para melhorar sua qualidade, visando não comprometer sua utilização bem como a contaminação do meio. Além disso, permite afirmar que a impermeabilização foi efetivamente conseguida com sucesso, já que não há contaminantes fecais.

Acredita-se que a ativação da argila bentonítica com uso de uma solução feita com carbonato de sódio e água foi essencial para conseguir ausência de *Escherichia coli*, pois esse foi o único procedimento diferente adotado entre os ensaios das amostras coletadas para a última análise. Acredita-se, ainda, que o processo de ativação fez com que a argila adsorvesse água continuamente e assim aumentasse seu volume até a total esfoliação de suas lamelas em água, o que satisfaz aos objetivos propostos neste projeto.

É importante ainda mencionar que a redução de acidez, assim como dos valores de DBO e DQO que na [Tabela 4](#) são altos, tendem, em geral, segundo a [Tabela 5](#), a decrescer expressivamente, devido à ocorrência da biodegradação da matéria orgânica ([SISINNO; MOREIRA, 1996](#)).

4 CONCLUSÃO

Inicialmente, quando a argila havia sido apenas ativada com água, os resultados não foram satisfatórios conforme o previsto. Assim sendo, após estudos e realização da ativação da argila bentonítica com o uso de uma solução feita com água e carbonato de sódio e aplicação em espessura de 2,0 cm, foi possível obter uma melhor impermeabilização, satisfazendo, dessa forma, aos objetivos propostos.

O tratamento químico com Na_2CO_3 permitiu a troca catiônica e mudança dos cátions interlamelares de Ca^{2+} por Na^+ . Isso possibilitou a bentonita passar de cálcica para sódica, o que influenciou e justificou sua eficiência, uma vez que na estrutura passaram a predominar cátions Na^+ , permitindo a argila se expandir e absorver água. Isso não aconteceria se o cátion predominante fosse Ca^{2+} , pois a quantidade de água que penetraria entre as lamelas seria limitada de modo que essas não se expandiriam.

A elevada capacidade de sorção, juntamente à condutividade hidráulica, evidencia a capacidade de impermeabilização do solo ao material percolado. É preciso mencionar que o bom desempenho da argila como barreira impermeabilizante depende da sua natureza, da presença de um detalhado projeto executivo, da correta instalação e da adequada fiscalização da qualidade de impermeabilização.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, fonte de fomento do projeto de Iniciação Científica 06/2013 que instigou a redação deste trabalho e, também, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado de Minas Gerais, por permitir e disponibilizar espaço físico para o desenvolvimento das pesquisas e consulta ao acervo bibliográfico. À orientadora que se mostrou muito presente em auxiliar e acompanhar os estudos, além de sanar as dúvidas que ocorreram durante a sua realização.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. V. et al. Estudo comparativo entre variedades de argilas bentoníticas de Boa Vista. **Revista Matéria**, v. 11, p. 30–40, 2006.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 2015. Disponível em: <<https://www.standardmethods.org/>>. Acesso em: 19 mai. 2015.

BARBOSA, E. M. C. **Materiais mistos nanoestruturados baseados em argilas bentonita e cobalto coloidal**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) — Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2009.

CAMARGO, K. R. **Avaliação da condutividade hidráulica e da resistência ao cisalhamento de misturas solo-bentonita**: estudo de caso de um aterro sanitário localizado em rio grande (rs). 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Porto Alegre: SENAI/RS, 1994. 664 p.

CLAUDINO, M. D. R. et al. Avaliação do potencial de impermeabilização de argilas bentonítica natural (cálcica) e ativada (sódica) oriundas do município de Boa Vista - PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, XLVII., 2007, Natal. **Resumos...** Natal: Associação Brasileira de Química, 2007.

MEIRA, J. **Argilas**: o que são, suas propriedades e classificação. [S.l.], 2001. 7 p.

MINAS GERAIS (COPAM/CERH). **Deliberação Normativa Conjunta, nº 01, de 05 de maio de 2008**. 2008.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 12, n. 4, p. 515–523, 1996.

TEIXEIRA-NETO, E.; TEIXEIRA-NETO, A. A. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 809–817, 2009.