

UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE *GEOSYNTHETIC CLAY LINERS* PARA CONTENÇÃO DE CONTAMINANTES EM ATERROS DE RESÍDUOS

Brenda Rielli Spier Correa

Mestranda do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul
brenda.correa94@gmail.com

Resumo. *Os Geosynthetic Clay Liners (GCLs) podem ser empregados como liners de fundo e de cobertura em aterros de resíduos sólidos, tendo como principais objetivos o controle do fluxo de água, de contaminantes e de gases gerados a partir da decomposição dos resíduos. A função do material é de extrema importância e a sua qualidade e desempenho devem ser garantidos, para isso são realizados diversos estudos em torno do tema. O objetivo deste artigo é fazer uma revisão sobre alguns conceitos pertinentes, demonstrar as vantagens e desvantagens da utilização dos GCLs em aterros de resíduos sólidos e apresentar características importantes do material através de estudos recentes. Busca-se uma expansão da utilização dos GCLs à medida que os fabricantes desenvolvem novos materiais e os pesquisadores e projetistas realizam análises para novas aplicações. Pesquisas apontam que o material tem baixa condutividade hidráulica para água e podem manter sua integridade hidráulica a longo prazo. Para concluir sua efetividade surgem estudos mais específicos, referentes a condutividade hidráulica frente a compatibilidade química, troca iônica e cargas aplicadas no material.*

Palavras-chave: *Geossintéticos, aterros de resíduos, Geosynthetic Clay Liners.*

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos no Brasil é uma questão ambiental delicada, pois por muito tempo a falta de infraestrutura e principalmente a falta de preocupação em relação ao armazenamento gerou áreas de lixões próximas aos centros urbanos sem o mínimo controle de gases e lixiviados.

A partir da aprovação da Lei nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos os aterros sanitários começaram a ser construídos de forma mais ecologicamente correta e racional no Brasil. Onde a impermeabilização de fundo dos aterros pode ser constituída por geossintéticos, pela compactação do solo ou pela união dos dois métodos. Os *Geosynthetic Clay Liners* (GCLs) vêm como uma solução para a base do aterro de resíduos e também para cobertura, após a capacidade máxima do aterro ser atingida gerando o fechamento do mesmo.

Os GCLs são constituídos por uma camada de argila bentonítica que fica entre duas outras camadas de geossintéticos, podendo estas serem compostas por geotêxteis ou geomembranas. A bentonita é um material com grande potencial expansivo quando em contato com a água, possui baixa condutividade hidráulica sendo uma aliada no bloqueio da passagem dos subprodutos da decomposição do lixo. Estão entre as vantagens da utilização dos GCLs a diminuição da espessura em comparação ao solo compactado, apresentação de grande resistência quanto a recalques diferenciais e é de fácil instalação.

Nos últimos anos os GCLs estão sendo largamente utilizados e, em consequência, o material vem sendo muito estudado, visando prever vantagens e desvantagens quanto a sua utilização, assim como obter o comportamento desse material a longo prazo.

O objetivo do presente trabalho é fazer uma breve revisão bibliográfica sobre conceitos, vantagens e desvantagens da utilização dos GCLs em aterros de resíduos sólidos e apresentar características importantes do material através de pesquisas recentes.

2. ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Classificação dos resíduos sólidos é feita através das diretrizes da NBR 10.004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, onde os resíduos são divididos em classes. Os resíduos que apresentam inflamabilidade, patogenicidade, toxicidade, reatividade e corrosividade são classificados como perigosos de Classe I. Os de Classe II são não perigosos e subdividem-se em Classe II A (não inertes - possuem propriedades de biodegradabilidade, solubilidade em água e combustibilidade) e Classe II B (inertes – quando em contato com a água não tem seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos de potabilidade da água).

Os aterros de resíduos podem ser classificados em: aterros sanitários, onde são dispostos os resíduos sólidos urbanos e, os aterros industriais, onde são confinados os resíduos perigosos.

Silva (2009) descreve a operação de um aterro sanitário como um conjunto de atividades que consiste no espalhamento dos resíduos sólidos sobre o solo, realizando a compactação dos mesmos em camadas, e, após cada dia de operação é realizada uma camada compactada de solo para cobertura.

Os aterros sanitários são a solução mais utilizada para estocagem de resíduos sólidos urbanos, pois é o modo mais viável do ponto

de vista financeiro, porém os resíduos acumulados nos aterros não são materiais inativos e necessitam de um tratamento adequado, da mesma maneira, os aterros industriais também merecem grande atenção e controle principalmente quanto a exalação de gases tóxicos, odores e vetores de poluição em geral.

Dentre os problemas ambientais que podem ser gerados a partir de aterros sanitários estão, a geração e transferência para a atmosfera de gases decorrentes da decomposição dos resíduos, a lixiviação horizontal direta dos resíduos pelas águas subterrâneas e a lixiviação vertical proveniente das águas de percolação (ASSIS, 1999). Segundo Qasim e Chiang (1994) o tratamento e o controle do lixiviado são os aspectos mais importantes a serem considerados no projeto e durante a operação de um aterro de resíduos sólidos.

Visando a proteção do solo contra os contaminantes foram desenvolvidos métodos e materiais para impedir a dissipação de contaminantes, sendo então necessária a utilização de liners de solo compactado, liners compósitos ou de GCLs (Geosynthetic Clay Liners), que utilizam geomembranas ou geotêxteis intercalados com camadas de argila, conforme o tipo de resíduo (HEINECK, 2002). Sendo estas as formas de contenção horizontais de contaminantes, ainda podem ser utilizadas barreiras verticais com liners de solo natural para remediação.

3. APLICAÇÃO DOS GCLs EM ATERROS DE RESÍDUOS

Os GCLs representam um material compósito constituído por bentonita e geossintéticos (geotêxteis ou geomembrana). Quando a bentonita é revestida de geotêxtil em ambos os lados, os geotêxteis são colados por um adesivo, punção ou colagem por

pontos (Fig.1). Para os GCLs suportados por geomembranas a bentonita é ligada a geomembrana utilizando um adesivo solúvel em água, como pode ser observado na Fig. 2. Existem vários tipos e variações do produto disponíveis atualmente, devido a flexibilidade de produção, rápida inovação e desempenhos desejados no projeto. Dentre os vários tipos de geossintéticos utilizados para contenção de resíduos, os GCLs são um dos mais novos e o seu uso é cada vez mais frequente (BOUAZZA, ZORNBERG E ADAM, 2002).

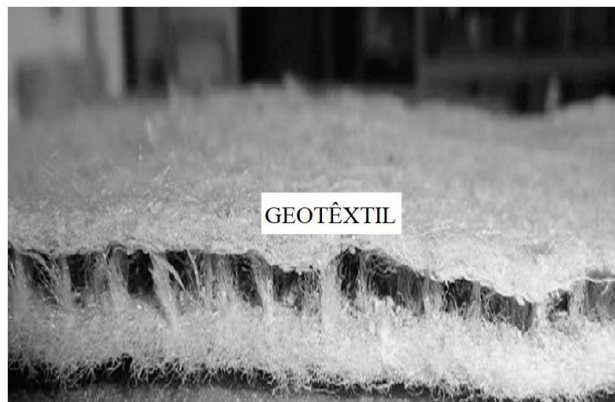


Figura 1: Bentonita revestida por geotêxtil (KONG, D. et al., 2017).

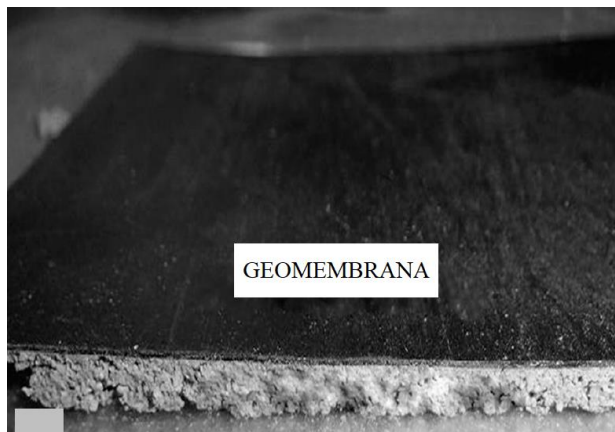


Figura 2: Bentonita revestida por geomembrana. (KONG, D. et al., 2017).

Como são materiais concebidos para desempenhar a função de controlar o fluxo de água e/ou de contaminantes em aterros de resíduos sólidos, os GCLs devem ser bem dimensionados e executados para garantir a

integridade de suas funcionalidades, principalmente quanto ao seu elemento composto de solo (bentonita). Dentre as diversas aplicações do material em obras, para aterros de resíduos sólidos o material é empregado principalmente como barreira impermeabilizante de fundo e cobertura final do aterro, como ilustram, respectivamente, as Fig. 3 e 4.

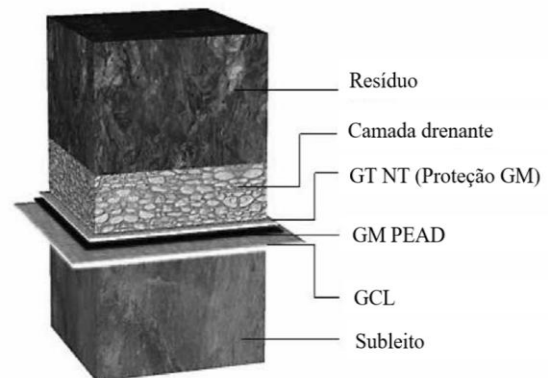


Figura 3: Exemplo de aplicação de GCLs como barreira impermeabilizante de fundo de aterros de resíduos (HEERTEN, 2002 apud PIMENTEL, 2008).

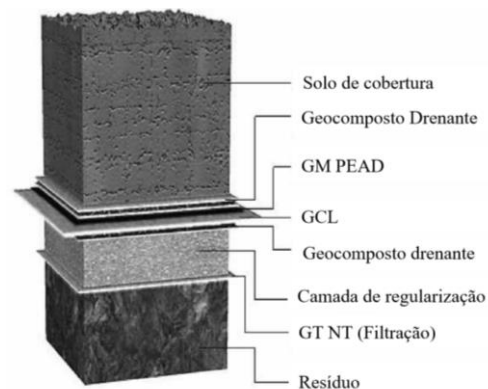


Figura 4: Exemplo de aplicação de GCLs como barreira impermeabilizante de cobertura final de resíduos (HEERTEN, 2002 apud PIMENTEL, 2008).

Pimentel (2008) em seu estudo cita a importância de observar, nos casos de geossintéticos instalados em contato direto, que se formam interfaces que podem

representar superfícies com potencial de ruptura caso apresentem baixa resistência ao cisalhamento, para avaliar essa possibilidade podem ser realizados ensaios de cisalhamento direto multicamadas.

3.1 Vantagens e desvantagens quanto a utilização dos GCLs

A utilização dos GCLs juntamente com uma camada de liner de argila compactada ou apenas substituindo-a tem aumentado devido ao fato de que eles, em geral, tem uma

condutividade hidráulica muito baixa para a água ($k_w = 10^{-10} m/s$) e possuem um custo relativamente baixo. Por outro lado, a espessura limitada dessa barreira pode produzir vulnerabilidade a acidentes mecânicos, capacidade de sorção limitada e aumento significativo esperado de transporte difuso se uma camada mineral de atenuação subjacente não for fornecida. A Tabela 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens quanto ao uso dos GCLs.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens quanto ao uso dos GCLs (BOUAZZA, ZORNBERG E ADAM, 2002).

Vantagens	Desvantagens
Reduzir a tensão de sobrecarga no substrato compressível	Baixa resistência ao cisalhamento da bentonita hidratada (para GCLs não reforçados)
Mão de obra menos qualificada	GCLs podem ser perfurados durante ou após a instalação
Baixo custo	Possível perda de bentonita durante a instalação
Fácil de reparar	Bentonita de baixa umidade torna-se permeável ao gás
Pode suportar grandes recalques diferenciais	Problemas potenciais de resistência em interfaces com outros materiais
Excelentes características de autocura	Menor capacidade de atenuação dos lixiviados
Não depende da disponibilidade de solos locais	Possível perda de resistência ao cisalhamento pós-pico
Condutividade hidráulica muito baixa para a água, se instalada corretamente	Possível fluxo de longo prazo maior devido a uma redução na espessura da bentonita sob tensões normais aplicadas
Resistência aos efeitos dos ciclos de congelamento/descongelamento	Possível aumento da condutividade hidráulica devido a problemas de compatibilidade com o contaminante, se não pré-hidratado com fonte de água compatível
Rápida Instalação	Maior fluxo difusivo de contaminantes em comparação com liners de argila compactados
Teste de condutividade hidráulica de campo não é necessário	Propenso à troca iônica (para GCLs com bentonita sódica)
GCL hidratado é uma barreira eficaz contra gases	Propenso a dessecação se não for devidamente coberto (pelo menos 0,6m)

4. ALGUNS ESTUDOS SOBRE O COMPORTAMENTO DOS GCLs

Bouazza e Gates (2010) apresentaram em seu estudo os aspectos que tem merecido maior atenção e que devem ser levados em consideração no dimensionamento dos GCLs, indicados na Tabela 2.

Pode-se observar, que a questão da compatibilidade química dos GCLs junto aos lixiviados, produzidos pelos resíduos em aterros, é de grande relevância no dimensionamento.

Tabela 2: Dimensionamento dos GCLs em aterros de resíduos (modificado de Bouazza e Gates, 2010)

Aspectos relevantes	Potencial impacto
Compatibilidade química	Aumento do fluxo de contaminantes devido ao aumento de k causado pela incompatibilidade química entre GCLs e soluções químicas orgânicas e inorgânicas
Compatibilidade química após pré-hidratação das GCLs	Impacto da pre-hidratação das GCLs sobre a k dos mesmos a longo prazo, após permeação com soluções químicas orgânicas ou inorgânicas
Troca catiónica	Dessecação associada a trocas catiónicas (“dessecação química”), comprometendo o desempenho destas barreiras à migração de líquidos e gases (sistemas de cobertura)
Migração de gás	Migração de gás através das GCLs aplicadas no sistema de cobertura
Migração de contaminantes	Difusão e adsorção/ desadsorção de contaminantes através das GCLs aplicadas nos sistemas de proteção ambiental
pH alcalino	Potencial desenvolvimento de reações químicas de dissolução e/ou precipitação da bentonita, bem como potencial degradação dos geotêxteis
pH ácido	Potencial desenvolvimento de reações químicas de dissolução da bentonita, conduzindo a um aumento da k das GCLs
Erosão interna da bentonita	Erosão resultante de elevados gradientes hidráulicos eventualmente existentes no interior do aterro devido ao inadequado funcionamento do sistema de drenagem, quer durante a operação, quer após o encerramento do aterro, conduz a um aumento da migração de fluidos através das GCLs
Retração das GCLs	Potencial afastamento entre os painéis adjacentes, sobretudo nos taludes, comprometendo o desempenho das GCLs

Rosin-Paumier et al. (2011) realizaram um estudo laboratorial onde avaliaram a adequabilidade do ensaio em filtro prensa (equipamento que remove partículas sólidas dos líquidos) na avaliação da interação entre diversas bentonitas, utilizadas em diferentes GCLs, com soluções químicas agressivas. Para os testes de filtro prensa, 40 g da bentonita extraída dos GCLs foram dispersos em 400ml de solução. Foi aplicada uma pressão constante de 700kPa na solução contra o filtro, gerando grumos de partículas de argila no filtro. O líquido filtrado que saiu do aparelho é pesado para estabelecer uma relação de massa filtrada *versus* tempo de filtragem. De posse desses dados é possível obter valores de permeabilidade intrínseca da bentonita. Os resultados foram promissores quanto à utilização do equipamento de filtro prensa para selecionar os GCLs mais adequados às condições de serviço, pois é um ensaio mais rápido em relação ao ensaio com permeâmetro, embora não seja tão preciso quanto.

Outros estudos relacionados diretamente ao comportamento da condutividade hidráulica (k) dos GCLs com soluções de possíveis contaminantes como, por exemplo, ácido sulfúrico, objeto de estudo de Liu et al. (2015) onde foi avaliado o comportamento de bentonitas sódicas retiradas de GCLs frente a diferentes concentrações de H_2SO_4 , os resultados apontaram um aumento na condutividade hidráulica em todas as amostras, sendo as pré-hidratadas as que apontaram melhores resultados. Assim como fortes correlações foram observadas entre os parâmetros k , limite líquido e índice de expansividade, independentemente da pré-hidratação e de tensão efetiva. No entanto, deve-se ter cuidado ao usar essas correlações para avaliar o desempenho hidráulico, porque as propriedades de microestrutura intrínseca da bentonita, como a porosidade, também devem ser consideradas. O estudo ainda concluiu que,

por exemplo, que o alto índice de expansividade de bentonita não se traduz necessariamente em um melhor desempenho hidráulico nos GCLs.

Como observado na pesquisa de Liu et al. (2015) e em diversos outros estudos, a importância da pré-hidratação dos GCLs referentes a condutividade hidráulica, ajuda em um melhor desempenho hidráulico do material. Como recomendação a hidratação deve ser feita sob carga, porém existem muitas situações em que não é possível satisfazer este critério, a partir desta situação surgem pesquisas referentes ao método mais adequado de hidratação. Esta questão foi estudada por Touze-Foltz et al. (2009), por meio de ensaios em permeâmetros, realizando testes sem carga e com 5 tipos de GCLs constituídas por bentonita sódica, sendo desses 3 produtos agulhados e 2 costurados. O artigo descreveu o impacto de três métodos de hidratação de um GCL sem carga: (1) imersão durante cinco dias sem carga para GCLs na posição horizontal, o que é representativo de uma ampla gama de usos em várias aplicações, incluindo aterros de resíduos; (2) chuvas fortes para GCLs instalados horizontalmente e (3) chuvas fortes para GCLs instalados verticalmente. Concluíram que os produtos costurados devem ser cobertos imediatamente após a sua instalação, o que não é necessariamente requerido para os GCLs agulhados.

O comportamento quanto às questões mecânicas e de instalação foram abordados no estudo de Endler, Ghisleni e Floss (2016) a pesquisa teve como objetivo avaliar a espessura mínima da camada de solo que cobre o GCL, para evitar o squeezing (deslocamento lateral da bentonita) fenômeno que pode ocorrer quando uma carga concentrada é aplicada sobre os GCLs, principalmente quando a bentonita já se encontra hidratada e sua resistência diminui. Foram realizados ensaios adaptados de capacidade de carga

(CBR) verificando a influência do diâmetro do pistão, concluídos os testes os resultados apontaram que quanto menor o diâmetro do elemento perfurante deve ser a relação de espessura de solo sobre o geocomposto e ainda, quanto maior a razão de solo sobre o GCL menor a deformação do mesmo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os GCLs são muito utilizados em sistemas de contenção de resíduos e à medida que os fabricantes desenvolvem novos materiais e os pesquisadores e projetistas analisam novas possibilidades de utilização certamente ocorrerá a expansão do seu emprego. A partir das pesquisas disponíveis que sugerem que os GCLs têm baixíssima condutividade hidráulica para a água e podem manter sua integridade hidráulica a longo prazo, surgem estudos críticos sobre a vida útil dos GCLs quanto a integridade da sua condutividade hidráulica relacionadas a compatibilidade química, troca iônica, perda localizada de bentonita e afinamento da sua camada devido a cargas concentradas sobre o material. No que diz respeito ao dimensionamento devem ser muito bem avaliadas as condições de contorno reais, os diferentes fenômenos de transporte de poluentes, a vida útil do contaminante e a vida útil ativa dos materiais de barreira e outros componentes do aterro devem ser levados em consideração para garantir a integridade do sistema de contenção de resíduos.

6. REFERÊNCIAS

ASSIS, J. F. **Avaliação do uso de aterros como alternativa para disposição de resíduos sólidos domiciliares e industriais.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos: Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro. 2004.

BOUAZZA, A.; GATES, W.P. On the compatibility of GCLs to leachates of extreme chemistry?. **Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics.** Brazil, p.345-357, 2010.

BOUAZZA, A.; ZORNBERG, J. G.; ADAM, D. Geosynthetics in waste containment facilities: recent advances. **Geosynthetics – 7º ICG.** 445-507. 2002.

ENDLER, R. R.; GHISLENI, D.; FLOSS, M. F. Estudo da espessura mínima de areia fina como cobertura de solo sobre o GCL. **XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.** 2016.

HEINECK, K. S. **Estudo do comportamento hidráulico e mecânico de materiais geotécnicos para barreiras horizontais impermeáveis.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 275p. 2002.

KONG, D. et al. State-Of-The-Art Review of Geosynthetic Clay Liners. **Sustainability,** 9, 2-18p. 2017.

LIU, Y.; BOUAZZA, A.; GATES, W. P.; ROWE, R. K. Hydraulic Performance of geosynthetic clay liners to sulfuric acid solutions. **Geotextiles and Geomembranes,** 43, 14-23p. 2015.

PIMENTEL, V. E. **Avaliação da resistência ao cisalhamento em GCLs – Uma nova metodologia de ensaio.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos: Univerisdade de São Paulo. 159p. 2008.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment.** Lancaster: Ed. Technomic publishin. 1994.

ROSIN-PAUMIER, S.; TOUZE-FOLTZ, N. e PANTET, A. Impact of a synthetic leachate on permittivity of GCLs measured by filter press and oedopermeameter tests. **Geotextiles and Geomembranes**, 29, 211-221p. 2011.

SILVA, D. D. **Remoção biológica do nitrogênio pela via curta de lixiviado de aterro sanitário operando um reator em bateladas sequenciais (SBR).** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica: Universidade de São Paulo. São Paulo. 164p. 2009.

TOUZE-FOLTZ, N.; BUESSARD, J.; DIDIER, G.; NOROTTE, V.; MAZZOLENI, G.; MAHUET, J. L. Influence of Prehydration Without Load on The Hydraulic Performance of Geosynthetic Clay Liners. **GIGSA GeoAfrica 2009 Conference.** 2009.