

*XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*  
*IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas*  
*IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
*VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
*15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP*



## Resultados da Utilização do Método Dipolo para a Garantia da Qualidade da Camada de Impermeabilização do Aterro Sanitário da CTR-Rio

Priscila Mendes Zidan

Engenheira, Evolui, Rio de Janeiro, Brasil, priscilazidan@evolui.eco.br

Luiz Paulo Achcar Frigo

Engenheiro, Evolui, Rio de Janeiro, Brasil, luizfrigo@evolui.eco.br

Luciano Leal

Técnico de Meio Ambiente, Evolui, Rio de Janeiro, Brasil, lucianoleal@evolui.eco.br

**RESUMO:** Este trabalho apresenta os resultados da aplicação do Método Dipolo, ao longo dos 7 anos de sua adoção como requisito integrante do Programa de Garantia da Qualidade (PGQ) da camada de impermeabilização do aterro sanitário da CTR-Rio. Este empreendimento, localizado no município de Seropédica, recebe cerca de 10.000 ton/dia de resíduos sólidos urbanos, e possui um projeto de impermeabilização que contempla quatro camadas: duas geomembranas de PEAD, geocomposto bentonítico e argila compactada. Para assegurar a funcionalidade destas camadas, o empreendedor adota procedimentos para controle da Qualidade dos materiais empregados e para verificação de sua correta instalação. Complementarmente, o Método Dipolo tem sido empregado para inspecionar a primeira camada de geomembrana após sua completa instalação e a aplicação do solo de cobertura. Os resultados apresentados foram obtidos em inspeções de campo realizadas entre 2011 a 2019, em um total de 522.742 m<sup>2</sup> de geomembranas instaladas. Pôde-se identificar através deste estudo que, apesar da adoção dos métodos de controle de qualidade dos materiais e de sua instalação, após a aplicação do Método Dipolo, ainda foram encontrados furos na geomembrana, os quais foram reparados pelo empreendedor. Tais resultados sugerem a inclusão do método dipolo como requisito do PGQ de empreendimentos com significativo risco ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** métodos geoeletricos, método dipolo, detecção de furos em geomembranas, garantia da qualidade, inspeção em geomembranas, aterro sanitário.

**ABSTRACT:** This work presents the results of the application of the Dipole Method, over the 7 years of its adoption as an integral part of the Quality Assurance (CQA) plan of the waterproofing layer of the CTR-Rio landfill. The project, located in the municipality of Seropédica, receives around 10,000 ton / day of solid urban waste, and has a waterproofing project that includes four layers: two of HDPE geomembranes, one of bentonite geocomposite and one of compacted clay. To ensure the functionality of these layers, the entrepreneur adopts procedures to control the quality of the materials used and to verify their correct installation. Complementarily to that, the Dipole Method has been used to inspect the first layer of geomembrane after its complete installation and application of the topsoil. With the field inspections carried out between 2011 and 2019, in a total area of 522.742 m<sup>2</sup> of HDPE geomembranes installed, it was possible to obtain the results presented in this work. It was possible to identify through this study that, despite the adoption of the methods of quality control of the materials and their installation, after the application of the Dipole Method, it was still possible to find holes in the geomembrane, which were repaired by the entrepreneur. Such results suggest the inclusion of the dipole method as a requirement of the PGQ of enterprises with significant environmental risk.

**KEYWORDS:** geoelectrical methods, dipole method, electrical leak location, quality assurance, geomembrane liners inspection, landfill.

### 1 Introdução

### 1.1 A Central de Tratamento de Resíduos – CTR-Rio

A Central de Tratamento de Resíduos, CTR-Rio, está localizada no município de Seropédica – RJ, a uma distância de cerca de 80 km do Centro da Cidade do Rio de Janeiro. O empreendimento que iniciou suas operações em abril de 2011, recebe os resíduos sólidos urbanos de toda a cidade do Rio de Janeiro e também das cidades de Seropédica, Itaguaí e Mangaratiba. A Unidade conta com um Aterro Sanitário que recebe em média 10.000 ton/dia de resíduos, duas Unidades de Tratamento de Lixiviado: uma com sistema osmose reversa e 800 m<sup>3</sup>/dia de capacidade e outra com três etapas de tratamento (físico-químico, biológico e polimento com nanofiltração) e capacidade de tratar 1.000 m<sup>3</sup>/dia. A CTR também possui Sistema de Captação, Monitoramento e Tratamento do Biogás gerado no aterro. O biogás produzido durante a degradação dos resíduos é purificado e posteriormente vendido para uso como combustível veicular e industrial.

O aterro sanitário da CTR-Rio possui quatro camadas de impermeabilização: 0,5 m de argila compactada, geocomposto bentonítico e duas camadas de geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade) sendo uma com 1,5 e outra com 2,0 mm de espessura. O perfil das camadas segue apresentado na Figura 1.

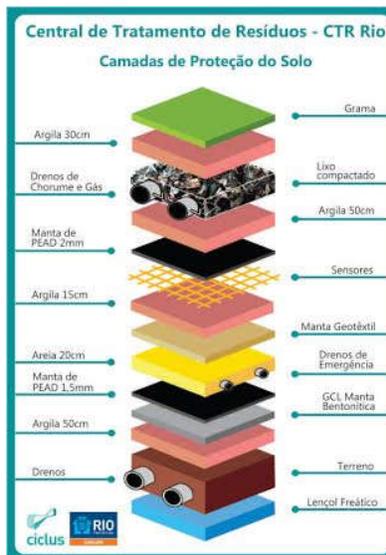


Figura 1. Perfil das Camadas de Impermeabilização adotado no aterro sanitário da CTR-Rio .

### 1.2 Programa de Garantia da Qualidade da Camada de Impermeabilização

Para garantir a funcionalidade das camadas de impermeabilização, são adotados critérios de aceitação dos materiais antes de sua aquisição, ensaios para verificação da sua conformidade, procedimentos de instalação e de controle de qualidade da instalação. Para a camada de geomembrana de PEAD com 2,0 mm, a que está instalada em posição mais próxima aos resíduos, além destes controles, é adotado, complementarmente, o método dipolo, que é um método geolétrico capaz de inspecionar a totalidade da área da geomembrana após a colocação do solo de proteção mecânica. Este método vem sendo adotado em toda nova célula do aterro sanitário, desde o início das operações da CTR-Rio.

#### 1.2.1 O Controle de Qualidade e Garantia da Qualidade da Geomembrana

No processo de aquisição das geomembranas que serão utilizadas na CTR-Rio, são estabelecidos os critérios de aceitação do material junto ao fabricante. Desta forma, após o processo de fabricação e antes da entrega do material, o fabricante da geomembrana realiza os ensaios especificados e emite o relatório de conformidade, através do qual demonstra o atendimento aos critérios de aceitação pré-estabelecidos.



Após a confirmação do atendimento dos critérios de aceitação, pelo fabricante, a geomembrana é recebida na CTR e amostras de cada lote são retiradas e enviadas para laboratório independente para confirmação do atendimento aos critérios de aceitação. Apenas os lotes de bobinas que atendem aos critérios ensaiados pelo laboratório contratado pela CTR é que são aplicadas.

Os critérios de aceitação adotados para geomembrana de PEAD são os estabelecidos na norma GM-13 *Standard Specification for "Testing Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembrane"*.

### 1.2.2 O Controle de Qualidade da Instalação

O processo de instalação da geomembrana e de verificação de sua conformidade, na CTR-Rio, seguem as diretrizes e critérios estabelecidos nas normas ABNT NBR 16199 – Geomembranas Termoplásticas – Instalação em obras geotécnicas e de saneamento ambiental e norma GM-19 – *Standard Specification for "Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes"*.

### 1.2.3 O Método Dipolo

A inspeção da geomembrana de 2,0 mm pelo método dipolo (conforme norma ASTM D7007 – *Standard Practice for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials*) é realizada após sua completa instalação e aplicação dos 0,5 m de camada de proteção mecânica, na qual é aplicado um solo argiloso com posterior compactação. Desta forma, os danos à geomembrana que foram decorrentes da aplicação do solo de cobertura, podem ser identificados e corrigidos. Os furos identificados durante a inspeção são reparados pela empresa responsável pela instalação da geomembrana sob a gestão dos representantes da CTR-Rio. Desta forma, todos os furos mapeados pelo Método Dipolo são corrigidos antes do início da disposição dos resíduos no aterro sanitário.

## 2 Revisão Bibliográfica

Os métodos geoeletricos, nos quais se inclui o método dipolo, foram desenvolvidos nos Estados Unidos na década de 1980 (Beck et al., 2018) e têm sido comercialmente empregado desde 1985. Estes métodos, já estabelecidos através dos padrões normativos internacionais (ASTM, 2015), permitem a identificação de danos extremamente pequenos em inspeções que abrangem a totalidade da área da geomembrana instalada, possibilitando que os reparados sejam feitos antes do início de seu uso. Segundo Giroud (2016), furos de 1 mm são identificados quando a aplicação dos métodos geoeletricos ocorre diretamente sobre a geomembrana. Cita ainda que furos de 0,6 mm podem ser encontrados na geomembrana coberta com até 60 cm de solo de cobertura, no caso da aplicação do método com geomembrana coberta.

De acordo com Forget et al (2005), dentre 89 projetos testados, usando métodos geoeletricos durante um período de 10 anos (2.652.000 m<sup>2</sup> de área), em média foram encontrados entre 4 e 22 furos por cada 10.000 m<sup>2</sup>. Esta variação na quantidade de furos depende do nível de controle de qualidade utilizado durante a instalação da geomembrana. Setenta e três por cento dos danos ocorreram durante a aplicação do material de cobertura sobre a geomembrana, vinte e quatro por cento ocorreram durante a instalação da geomembrana e apenas dois por cento dos danos ocorreram após o início do uso da camada impermeabilizante.

Zidan e Frigo (2016) apresentaram o resultado da aplicação dos métodos geoeletricos aplicados em 310.000 m<sup>2</sup> de área de geomembrana coberta com solo, na CTR-Rio. A densidade de furos obtida ao longo dos 4 primeiros anos de operação do empreendimento foi de 0,5 a 8 furos/10.000 m<sup>2</sup>.

Giroud (2016) relatou os resultados de um estudo desenvolvido em 150 projetos, totalizando 2.500.000 m<sup>2</sup> de área, onde foram aplicados os métodos geoeletricos diretamente na geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade) para avaliar sua integridade. Nestes estudos, de 5 a 6 furos/10.000 m<sup>2</sup> de geomembrana



foram encontrados ao final da instalação da mesma. Tais resultados foram compatíveis com projetos onde houve a adoção de procedimentos de garantia da qualidade. Em projetos onde estes procedimentos não foram empregados, o número de furos chegou a mais de 25/10.000 m<sup>2</sup>.

Nosko e Touze (2000) que avaliaram os resultados obtidos na aplicação da mesma técnica em cerca de 3.250.000 m<sup>2</sup>, em mais de 300 sites diferentes, identificaram que a maior parte dos furos acontece na área plana onde foi instalada a geomembrana. E nas áreas planas, as principais causas de furos são as rochas e trânsito de máquinas pesadas.

Giroud (2016) sugere, então, a adoção de um Plano de Garantia da Qualidade da Construção para este tipo de obra, no qual estarão previstos testes não destrutivos para avaliar a integridade das soldas, inspeções visuais na geomembrana e a adoção dos métodos geoeletricos de maneira complementar, principalmente para os projetos em que a mão de obra empregada na construção não possui padrão de excelência. Thiel et al (2003) também sugerem a adoção dos métodos geoeletricos nos Planos de Garantia da Qualidade empregados nos projetos.

De acordo com o mesmo documento, o número de furos causados pela colocação do solo de cobertura sobre a geomembrana, pode variar de alguns até 20 por hectare, dependendo dos cuidados tomados durante o processo de aplicação do solo sobre a geomembrana e o tipo de geomembrana de proteção utilizada. Estas informações, apresentadas por Giroud, foram obtidas a partir da aplicação dos métodos geoeletricos.

A aplicação dos métodos geoeletricos tem sido um requisito obrigatório para aterros sanitários em, pelo menos, 4 estados nos Estados Unidos da América: Nova Jersey, Nova Iorque, Wisconsin e Carolina do Norte (Koerner et al, 2016).

No Brasil, os requisitos normativos para Instalação de geomembranas em obras geotécnicas e de saneamento ambiental, estão estabelecidos na NBR 16.199/2013. De acordo com essa norma, para as obras do tipo I (cujas falhas na barreira causam danos ambientais), a verificação da estanqueidade global da obra deve envolver: ensaios não destrutivos, ensaios destrutivos e outros ensaios. Como exemplos de outros ensaios são citados: lâmina d'água ou enchimento parcial do reservatório e ensaios geoeletricos de detecção de vazamentos.

Embora os Métodos Geoeletricos estejam citados na NBR 16.199, a metodologia para a sua execução não está definida em normas brasileiras. Entretanto, tais métodos já estão consolidados em normas ASTM, como é o caso da ASTM 6747 e D7007.

### **3 Metodologia**

Todos os resultados apresentados neste estudo foram obtidos a partir da aplicação do método dipolo na primeira camada de geomembrana de PEAD, a qual possui 2,0 mm de espessura e encontra-se mais próxima aos resíduos que serão depositados no aterro sanitário. Os ensaios foram conduzidos após a completa instalação da geomembrana e aplicação do solo de cobertura. Os furos identificados durante a inspeção foram reportados aos representantes do empreendimento e corrigidos por estes.

Em função do plano de avanço de implantação do Aterro da CTR-Rio, as inspeções das novas células para disposição dos resíduos ocorreram ao longo dos anos de 2011 e 2019, totalizando cerca de 523.000 m<sup>2</sup> de área inspecionada. A Figura 2 apresenta a totalidade das áreas inspecionadas ao longo do período de implantação.

O princípio do método dipolo está baseado na aplicação de uma tensão elétrica no material de cobertura que cobre a geomembrana. Esta tensão produz um campo elétrico sem anomalias quando não há furos presentes. Se a geomembrana tiver um furo, a corrente que flui através deste produzirá uma anomalia no campo



elétrico medido. Assim, os vazamentos podem ser detectados e localizados. Essas anomalias no campo elétrico são detectadas através de medições sistemáticas sobre o solo que cobre a geomembrana.



Figura 2. Gráfico da progressão da implantação das células inspecionadas na CTR-Rio.

As medições do método dipolo foram feitas usando uma malha pré-definida, que determina os pontos de medição na área inspecionada. A malha utilizada neste estudo foi de 3 por 3 metros e as medições foram desenvolvidas a cada 1,5 metros. Os dados foram coletados usando um registrador de dados portátil. Depois da coleta, os dados foram baixados usando o software responsável pelo processamento da informação, permitindo a análise dos mesmos e identificação dos locais onde há furo.

#### 4 Resultados e Discussão

Os resultados da aplicação do método dipolo ao longo dos 8 anos de operações da CTR demonstraram que apesar da adoção dos métodos de controle de qualidade dos materiais e da instalação da geomembrana, após a colocação do solo de cobertura ainda podem ser identificados furos. Estes furos, não poderiam ter sido identificados visualmente ou pelos métodos que convencionalmente vem sendo adotados no Brasil.

Ao longo do período em estudo, 82 furos foram identificados e reparados antes do início da disposição de resíduos no aterro sanitário da CTR-Rio. A distribuição da densidade média de furos que foi encontrada ao longo dos oito anos de implantações segue apresentada na figura 3. Nota-se pequena variação nos resultados de densidade, exceto no ano 2015, o que demonstra a consolidação dos procedimentos de controle adotados. A densidade média ao longo de todos estes anos foi de 1,55 furos/hectare, resultado está dentro da faixa de variação de densidade de furos em projetos com programa de garantia da qualidade da geomembrana implantados, conforme Giroud (2016).

Além da densidade de furos identificados, pôde-se avaliar os tipos de furos encontrados ao longo do período e os dados consolidados seguem na figura 4. Nota-se que as ocorrências mais frequentes são por punção e cortes lineares, sendo seguidos por cortes irregulares e danos por máquinas. As falhas em soldas foram identificadas, apesar de procedimentos de controle de qualidade da solda (conforme descritos neste documento) terem sido aplicados.

A comparação da frequência dos principais tipos de furos identificados na CTR-Rio e aquelas divulgadas na literatura segue apresentada na figura 5. Nota-se que a frequência dos danos em solda e por cortes (lineares e irregulares) são menores na CTR-Rio quando comparados aos dados da literatura. Estes tipos de furo, em geral, ocorrem durante a instalação da geomembrana. As frequências de furos causados por máquinas ou punção por rocha, os quais, em geral, são decorrentes da atividade de aplicação do solo de cobertura, foram maiores na CTR-Rio quando comparados com os dados de literatura.

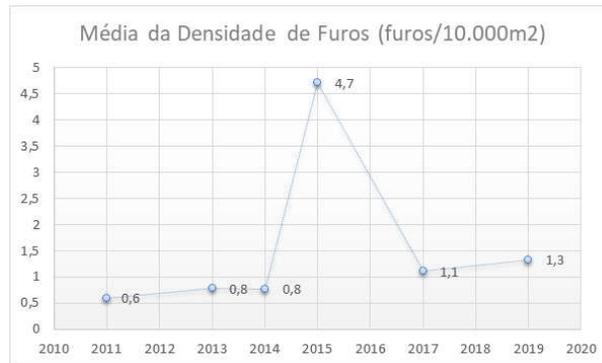


Figura 3. Média da densidade de furos encontrados por cada 10.000 m<sup>2</sup> ao longo do período de 2011-2019.



Figura 4. Classificação e percentual de ocorrência dos principais tipos de furos identificados

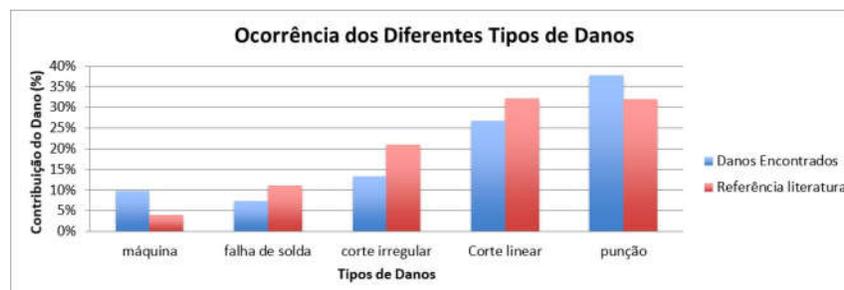


Figura 5. Frequência dos principais tipos de furos identificados nas inspeções da CTR-Rio comparada com os resultados disponíveis na literatura.

A avaliação dos resultados da densidades de furos das três células de aterro implantadas em momentos distintos do ano de 2015 segue apresentada na figura 6. Foram implantadas: célula F com 57.000 m<sup>2</sup> de área, célula G com 16.660 m<sup>2</sup> e célula H com 18.000 m<sup>2</sup>. Nota-se que as densidades das três células ficaram acima da média de todos os anos em separado e da média geral.

A classificação dos tipos de furos encontrados em 2015 comparada com o histórico de tipos de furos segue apresentada na figura 7. Os resultados mostram que o comportamento das frequências dos tipos de furos em 2015 foi diferente dos dados históricos da CTR. Os furos em soldas e os cortes irregulares apresentaram frequência significativamente superior. Apenas 6% das ocorrências foram por punção e nenhum dano de máquina foi evidenciado. Estes resultados levam ao entendimento de que no ano de 2015 os procedimentos de controle de qualidade ou de instalação da geomembrana não ocorreram com o mesmo rigor dos demais anos, já que houve mais furos cuja origem é a instalação, comparativamente aos causados pela aplicação do solo de cobertura.

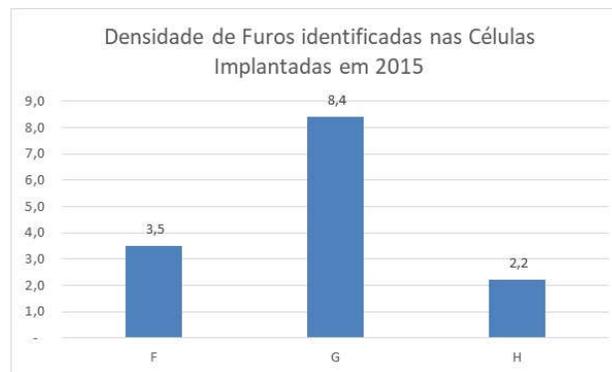


Figura 6. Densidade de Furos identificadas nas células implantadas no ano de 2015.

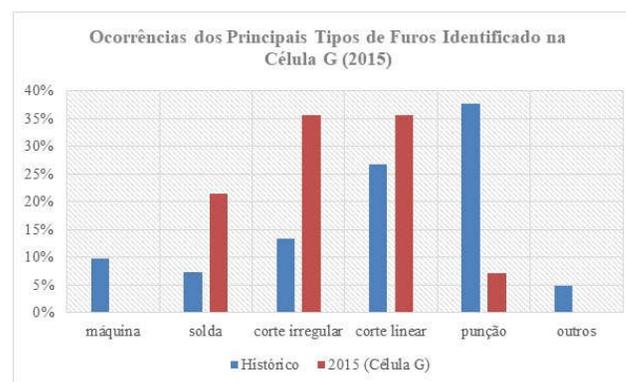


Figura 7. Comparação da frequência dos tipos de furos identificados na inspeção da célula G (2015) com os dados históricos da CTR-NI ao longo dos 8 anos de aplicação do método dipolo.

## 6 Conclusões e Recomendações

A partir das inspeções realizadas, foi possível concluir que, apesar da adoção dos processos de controle e garantia da qualidade da geomembrana e de controle da qualidade da instalação da geomembrana, ainda foram identificados furos na geomembrana após sua completa instalação e aplicação do solo de cobertura. A densidade média de furos encontrados é de 1,55 furos/10.000 m<sup>2</sup>, tendo sido a média individual de cada ano estudado inferior à média histórica da CTR, exceto no ano de 2015, quando a densidade de furos foi de 4,7 furos/hectare. Este resultado, apesar de mais alto, ainda se encontra dentro da faixa de variação de densidade de furos que foi apontada pela literatura para os projetos com programas de garantia da qualidade da geomembrana implantados.

Os tipos de furos mais frequentes historicamente na CTR foram: punção, 38%, e os cortes lineares, com 27% dos casos. Foram identificadas falhas de solda em 7% do total de furos identificados. Já no ano de 2015, os furos em soldas foram 21% dos casos e cortes lineares 36%. Tais resultados apontam para um possível menor rigor nos métodos de controle e instalação em 2015 relativamente aos dados históricos.

A aplicação do método dipolo permitiu a identificação dos furos e adequado reparo antes do início da disposição dos resíduos nas áreas inspecionadas.

A comparação dos resultados de densidades de furos encontrados neste estudo com dados de literatura, reafirma a relevância da implantação do controle de qualidade da instalação da geomembrana para a redução daquela variável. Os tipos de furos encontrados com maior frequência, apontam para a relevância do controle do material de cobertura e do treinamento às equipes de instalação.

*XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*  
*IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas*  
*IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
*VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Tendo em vista o potencial de benefícios ambientais e financeiros advindos da identificação precoce e imediato reparo de furos identificados na geomembrana utilizada como barreira de impermeabilização de aterros sanitários, recomenda-se que o método dipolo seja incluído no programa de garantia da qualidade através de uma inspeção final e posterior a implementação dos métodos de controle que já vem sendo adotados no Brasil. Recomenda-se que o modelo adotado na CTR-Rio seja replicados em outros projetos do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 16199. *Geomembranas Termoplásticas – Instalação em Obras Geotécnicas e de Saneamento Ambiental*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ASTM International (2016). D 7007. *Standard Practice for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM International (2015). D 6747. *Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Leak Location of Leaks in Geomembranes*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Beck A., Smith M. and Colmanetti J. (2018) *Métodos Geométricos Empregados na Minimização de Perdas de Solução em Pilhas de Lixiviação de Minério*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/238100562>. Acesso em 29 jan. 2020.
- Forget B, Rollin L., Jacquelin T. (2005) *Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes*, Proceed. Sardinia, Sardinia.
- Giroud, J. P. (2016) Leakage Control Using Geomembrane Linner, *Solo e Rocha vol. 39 n. 3*, p.213-235, São Paulo, Brasil.
- GRI Test Method GM13 (2019). *Standard Specification for Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes*, Folsom, Pennsylvania, USA
- GRI Test Method GM19b (2017). *Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Reinforced Polyolefin Geomembranes/Barriers*, Folsom, Pennsylvania, USA.
- Koerner, R.M., Koerner, J.M. and Koerner, G.R. (2016) *Status of the Electrical Leak Location Survey (ELLS) Method Among State Environmental Protection Agencies in the USA*, Geosynthetic Institute, GSI White Paper #34, Folsom, Pennsylvania, USA.
- Nosko, V. e Touze-Foltz, N. (2000) *Geomembrane Liner Failure: modelling of its Influence on Contaminant Transfer*, Eurogeo 2 – Bolonha, Itália.
- Zidan, P. e Frigo, L. (2016) Soil Survey: metodologia inovadora no Brasil adotada pela CTR-Rio, para controle de qualidade da instalação da geomembrana, *Revista Obras e Fundações Geotécnicas*, Julho, p. 38-41.
- Zidan, P., Frigo, L., Kemnitz, M. e Leal, L. (2019) *Deteção de Vazamentos em Geomembranas - Aplicação dos Métodos Geométricos na Indústria de Mineração*, IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Agosto-2019, São Carlos, SP, Brasil.