

Métodos Geométricos empregados na Minimização de Perdas de Solução em Pilhas de Lixiviação de Minério¹

Abigail Beck, PE

Engenheira Civil, Vector Engineering, Inc., Grass Valley, USA

Mark E. Smith, Presidente, GE

Presidente da Vector Engineering, Inc., Grass Valley, USA

Janaina P. Colmanetti, PhD

Consultora em Geotecnia, BVP Engenharia, Belo Horizonte, Brasil

RESUMO: Este artigo discute os dois tipos de inspeção geométrica usados na detecção de furos em geomembranas (Método Dipolo e Lança d'água) e os benefícios técnicos e financeiros de se empregar cada um destes métodos (ou ambos) no processo de construção de pilhas de lixiviação. Uma análise de custo/benefício realizada por Thiel et al. (2005), modificada considerando preços atuais de ouro e cobre, além de estatísticas recentes de tamanho e frequência de furos em *liners*, é apresentada objetivando auxiliar na escolha do método mais adequado de inspeção na construção de pilhas de lixiviação.

PALAVRAS-CHAVE: Pilhas de Lixiviação, Vazamentos, Sistemas de Detecção, Geomembrana, Benefícios econômicos, Mineração.

1 INTRODUÇÃO

Uma promissora tecnologia está rapidamente entrando no cenário da mineração, assegurando um sistema de revestimento em geomembrana livre de defeitos. Desenvolvido nos Estados Unidos nos anos 80, a inspeção de vazamentos por métodos geométricos pode detectar furos em geomembranas após o término da instalação e das atividades de CQA (Garantia da Qualidade de Construção), tanto antes e/ou após a colocação do material de proteção e drenagem (*overliner*) sobre o revestimento (*liner*).

Esses sistemas de detecção têm sido comercialmente usados desde 1985, porém mais comumente em instalações de contenção de resíduos domésticos, com fins de controle ambiental. Nas plataformas de lixiviação de ouro e cobre, além de evitar danos ambientais e assegurar o atendimento às normas, o custo da inspeção geométrica é geralmente pago simplesmente pelo valor da solução lixiviada que de outra forma seria perdida através dos

furos não detectados no revestimento de geomembrana (*liner*).

A inspeção geométrica emprega leituras de condutividade elétrica para determinar furos, testando de forma não-destrutiva até 100% da área revestida. Estatísticas recentes mostram que 70% dos furos encontrados em um *liner* após instalação ocorrem preferencialmente nos painéis que nas emendas (Forget et al., 2005). Isso demonstra tanto o sucesso dos convencionais métodos de CQA empregados na garantia da integridade das emendas quanto alerta para a necessidade de se utilizar métodos complementares que garantam a estanqueidade de toda a área.

Existem dois tipos de inspeção geométrica que pode identificar furos em *liners* isolados eletricamente. O método de lança d'água é usado em geomembranas expostas e é capaz de detectar furos invisíveis a olho nu. Esta inspeção é executada após a instalação do *liner* (geomembrana) e antes da colocação do *overliner*. Após a disposição do *overliner*, o

¹ Proc. do VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental e V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Recife – PE - Brasil, 18 a 21 de Junho de 2007.

método Dipolo pode ser aplicado. Este método é muito menos sensível que o método de Lança d'água, mas é essencial para encontrar grandes danos causados por maquinários durante a construção, principalmente durante o lançamento e espalhamento do *overliner*, onde ocorre a maior parte dos danos mecânicos.

2 MÉTODO DE LANÇA D'ÁGUA

O método de lança d'água (ASTM, 2003a) trabalha borrifando água sistematicamente sobre a geomembrana exposta, que é carregada eletricamente. O substrato sob o *liner* é carregado por um eletrodo negativo. Na presença de um furo, a água passando pelo mesmo cria uma conexão. Um detector conectado em série com o circuito alerta o operador da lança por meio de sinais visíveis e audíveis do movimento de corrente através da lança. Este método depende do contato entre a geomembrana e o material sob a mesma. É tipicamente menos sensível em taludes, onde a água tende a escoar pelo talude ao invés de atravessar um pequeno furo.

3 MÉTODO DIPOLO

O Método Dipolo de detecção de vazamentos (ASTM, 2003b) pode ser conduzido em um *liner* coberto por material condutivo como água ou solo. Inspeções em *liners* cobertos com água são muito mais sensíveis que os cobertos por solo. A sensibilidade de uma detecção pelo Método Dipolo em solo depende da espessura do material e de sua condutividade que, tipicamente, depende do teor de umidade e da sua mineralogia. Quando a espessura do material de cobertura é maior que 1 a 3 metros, a precisão se torna menor. Para executar a inspeção, o solo ou a água sobre o *liner* deve ser isolado do terreno circunvizinho. Uma fonte de alta voltagem carrega o material de cobertura, enquanto o solo sob o *liner* é conectado ao eletrodo negativo da fonte. Um instrumento denominado Dipolo é usado para medir a voltagem a partir de uma distância fixa em um grid padrão na área de inspeção. No

caso de um furo, ocorrerá fluxo vindo de todas as direções para o mesmo. Com a passagem do operador pelo local do furo, a voltagem aumenta nitidamente e então desce subitamente abaixo de zero antes de voltar aos valores originais, criando um padrão de onda distinto. Também podem ser criadas anomalias na medida de voltagem causadas não por furos, mas objetos tais como pedras grandes, mudanças nas camadas de cobertura, tubos ou objetos de aço. Este método é muito mais subjetivo que o método de Lança d'água e requer muito mais perícia para distinguir furos de outras anomalias.

4 ESCOLHA DO MÉTODO

Para cada método de inspeção geoeletrica (ou de ambos combinados) durante a construção da pilha de lixiviação, a análise de custo-benefício usada por Thiel et al. (2005) foi modificada usando preços atuais para ouro e cobre e as estatísticas mais recentes de tamanhos de furos e frequência. A estatística de furos e frequência foi obtida em locais com e sem atividades de CQA (Forget et al., 2005). Embora bastante simplificada a partir de uma aproximação probabilística adotada por Thiel et al. (2005), esta análise mostra os relativos benefícios financeiros em conduzir diferentes tipos de inspeções na plataforma da pilha de lixiviação. A Tabela 1 mostra os parâmetros usados para analisar os benefícios na escolha tanto do método por Lança d'água quanto do método Dipolo (ou de ambos), e a razão custo-benefício para instalações de lixiviação de ouro e cobre. Os preços do ouro e cobre foram atualizados seguindo cotações do final do mês de janeiro/2007. A equação de Giroud et al. (1997) foi usada para a determinação da vazão através de um sistema duplo de impermeabilização. A condutividade hidráulica do solo subjacente foi assumida igual a 1×10^{-5} cm/s. A concentração da solução de ouro e cobre foi assumida como 1,5 e 5.500 mg/l, respectivamente. Considerou-se uma pilha com vida útil de 10 anos, com 25% do tempo em ativa lixiviação. O cálculo da razão custo-benefício assumiu um fator de segurança de 20%.

Tabela 1. Parâmetros considerados.

Instalação	Freq. furos/ha		Carga hid.	Inspeção Custo/ha	Provável vazamento (l/dia/ha)	C/B Au	C/B Cu
	10 mm ²	1500 mm ²					
Pond (sem CQA)	22	0	5 m	\$5,382	17,630	43	41
Pond (c/ CQA)	4	0	5 m	\$6,458	3,205	7.7	7.5
Pad c/ ambos	22	1	1 m	\$6.458	2.971	6,0	5,8
Pad c/ ambos (+ CQA)	4	0.5	1 m	\$6.458	606	1.2	1,2
Pad c/ L.A.	22	0	1 m	\$3.229	2.764	11	11
Pad c/ L.A. (+ CQA)	4	0	1 m	\$3.229	502	2,0	2,0
Pad c/ Dipolo	15	1	1 m	\$3.229	2.091	8,4	8,1
Pad c/ Dipolo (+ CQA)	3	0.5	1 m	\$3.229	481	1,9	1,9

Obs.: Pad=plataforma de lixiviação; C/B=relação custo-benefício; Au=ouro; Cu=cobre.

3 RESULTADOS OBTIDOS

As análises mostram que em aplicações com elevada carga hidráulica, tais como em *ponds*, o benefício pode ser alto, colocando a inspeção geoeétrica como uma atividade final imprescindível na construção de novos *ponds* ou na recuperação de estruturas existentes. O que a Tabela 1 não ilustra é o inerente custo em conduzir somente a inspeção pelo Método de Lança d'água em plataformas de lixiviação. Embora o tamanho médio dos furos encontrados durante inspeções com o método Dipolo tenha sido de 1500 mm², durante a construção o dano provocado por um equipamento, como uma escavadeira, por exemplo, pode ser facilmente dez vezes maior em acidentes isolados, criando vazamentos adicionais que seriam facilmente corrigidos em uma inspeção pelo Método Dipolo. Por outro lado, se somente o Método Dipolo for conduzido, os furos não detectados serão tipicamente os menores. Em áreas com carga hidráulica relativamente baixa, o vazamento por um furo de pequeno diâmetro é praticamente insignificante. Conduzindo ambos os métodos de inspeção, o de Lança d'água e o Dipolo, associados às atividades de CQA, obtém-se a menor razão custo-benefício. Porém, este cenário criaria um sistema de impermeabilização bem

superior, que ainda estaria sendo pago durante a vida da pilha de lixiviação.

4 CONCLUSÕES

A inclusão de uma inspeção geoeétrica ao final da construção da plataforma de lixiviação não significa um aumento no custo total do projeto e geralmente será paga por ela mesma durante o primeiro ano de operação da plataforma. Quando um furo é descoberto em uma plataforma, após o início das operações, este estará recoberto por vários metros de minério e então seria impossível um reparo. O fechamento de uma mina pode e deve ocorrer quando a razão de vazamentos excede uma vazão de fluxo admissível. A probabilidade de um furo maior não ser detectado quando ambos os métodos são usados é praticamente nula para áreas inspecionadas, evitando questões sobre regulamentos de conformidade e instantaneamente aumentando a rentabilidade do projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar os seus agradecimentos à empresa Vector Engineering Inc. pelos dados fornecidos para

a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASTM (2003a). Standard practices for "Leak Location on Exposed Geomembranes using the Water Puddle System": ASTM D 7002;
- ASTM (2003b). Standard practices for "Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials": ASTM D 7007;
- Forget, B.; Rollin, A.L.; Jacquelin, T. (2005). Impacts and Limitations of Quality Assurance on Geomembrane Integrity, Sardinia's 2005, Cagliari, Italy;
- Giroud, J.P.; King, T.D.; Sanglerat, T.R.; Hadj-Hamou, T.; Khire, M.V. (1997). Rate of Liquid of Liquid Migration through Defects in a Geomembrane placed on a Semi-permeable Medium, *Geosynthetics International*, Vol. 4, No. 3-4, pp. 349-372;
- Thiel, R.; Beck, A.; Smith, M. (2005). The Value of Leak Detection Services for the Mining Industry, *Geofrontiers Conference Proceedings*, Austin, Texas.