



Uso de videoscopia na inspeção de piezômetros de aterro sanitário

Cláudio Luis de Araújo Neto

Professor Doutor, UFMA, Brasil
claudio.neto@ufma.br

Ana Leticia Ramos Bezerra

Mestranda, UFCG, Brasil.
annaleticiaramos0@gmail.com

Daniel Epifânio Bezerra

Doutorando, UFCG, Brasil.
dbezerra29@gmail.com

Veruschka Escarião Dessoles Monteiro

Professora Doutora, UFCG, Brasil.
veruschkamonteiro@hotmail.com

Marcio Camargo De Melo

Professor Doutor, UFCG, Brasil.
melomc90@gmail.com

RESUMO

Piezômetros são dispositivos utilizados em aterros sanitários e tem a função medir a carga piezométrica no interior dos maciços sanitários, sendo indispensáveis para se determinar a segurança dessas obras de engenharia. Entretanto, piezômetros devem ser inspecionados e com o desenvolvimento da tecnologia é possível realizar diagnósticos mais precisos no interior desses dispositivos. Para realizar esse monitoramento é utilizado um sensor em profundidade, porém existem diversos desafios ao efetuar as medições. O objetivo desse trabalho consiste em avaliar a situação a qual se encontra o interior de piezômetros usando a técnica da videoscopia em escala real. Foi possível avaliar a integridade desses instrumentos, a partir de imagens em tempo real, sendo possível realizar um diagnóstico da situação a qual cada tubulação se encontra, como a constatação de presença de gases, obstruções e danos causados aos piezômetros podem estar associados a evolução da própria operação do Aterro Sanitário. As causas podem estar associadas a evolução da operação do aterro sanitário que ocorre à medida que as células vão sendo alteadas com a disposição de mais resíduos e de camadas de cobertura. Por meio da realização desse estudo, concluiu-se que a utilização da videoscopia para inspeção de piezômetros é uma técnica que apresenta baixo custo e que possibilita auxiliar no diagnóstico da situação a qual se encontra o interior desses instrumentos.

PALAVRAS-CHAVE: Nível de líquidos. Piezômetros. Aterro sanitário. Lixiviado.

1 INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterros sanitários é oriundo, principalmente, da infiltração de água pluvial no maciço sanitário, da biodegradação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e de processos de recirculação na Célula. Os resíduos mais velhos, possuem baixas condutividades hidráulicas, causando a obstrução gradual de sistemas de drenagem, por isso, nesses aterros, podem ser registrados elevados níveis de lixiviado no maciço (ZHAN et al., 2017). Os níveis de lixiviado, são importantes indicadores de qualidade operacional dos aterros, tendo em vista que, altos níveis podem causar diversos problemas de engenharia, como o aumento da probabilidade de vazamentos pela cobertura, redução da geração de biogás e diminuição da estabilidade dos taludes.

Geralmente, o monitoramento de nível de lixiviado, comumente chamado de nível piezométrico, em maciços sanitários, é realizado a partir de piezômetros, que é um instrumento, capaz de avaliar o aumento ou redução de pressões neutras no interior da Célula de RSU (SLIMANI et al., 2017). A técnica utilizada no monitoramento do sistema de drenagem dessas obras é, comumente, realizada de maneira indireta, por meio da verificação das poropressões de líquidos na massa de resíduos (realizada utilizando piezômetros e sensores de nível) e de sua vazão (BOSCOV, 2008).

Entretanto, há desafios no monitoramento dos níveis de piezométricos em aterros sanitários. Geralmente para realizar essa medição, é utilizado um sensor em profundidade que ativa um sinal sonoro e luminoso quando entra em contato com algum líquido. Em termos operacionais, existem diversos problemas na realização dessas medições, podendo-se destacar as avarias encontradas em piezômetros, causadas principalmente devido aos movimentos horizontais e verticais que ocorrem em aterros.

Portanto, para monitorar o nível de lixiviado em piezômetros instalados no maciço sanitário devem ser adotadas além de técnicas eficazes, um sistema que possibilite a averiguação do estado de preservação e integridade da própria estrutura do piezômetro. Por isso, em alternativa às técnicas tradicionais de investigação, pode-se utilizar a perfilagem ótica

ou a videoscopia. A videoscopia consiste em um instrumento de extrema utilidade para averiguar as condições construtivas de poços de engenharia, com presença de fluidos, bem como analisar a presença de incrustações e o nível piezométrico atual. Essa é uma técnica já utilizada para inspeção de poços tubulares. Camargo Junior et al. (1988), foram os pioneiros no assunto apresentando a metodologia do processo e as características técnicas do equipamento.

Reginato e Ahlert (2012) utilizaram a metodologia da perfilagem na verificação de poços tubulares associados à aquíferos fraturados, os resultados obtidos no estudo permitiram a identificação de características e problemas construtivos. Pádua (2018) utilizou essa técnica como auxílio na determinação das condições de circulação em aquíferos fraturados, o que permitiu a observação das rochas em profundidade. Em poços de monitoramento, esse método pode ser utilizado para verificar o estado físico em que se encontram, observando a ocorrência de falhas, como a presença de materiais estranhos ou obstruções em seu interior. O objetivo desse trabalho consiste em verificar a integridade física do interior de piezômetros instalados em Células de Aterro Sanitário, tendo em vista a ocorrência de dificuldades no monitoramento utilizando sensor de nível de líquidos em profundidade.

2 OBJETIVOS

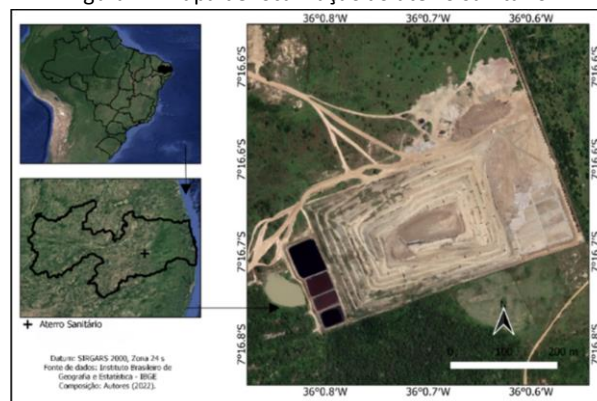
Verificar a integridade física do interior de piezômetros instalados em Células de Aterro Sanitário, tendo em vista a ocorrência de dificuldades no monitoramento utilizando sensor de nível de líquidos em profundidade.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

O objeto de estudo dessa pesquisa foi um Aterro Sanitário localizado no semiárido paraibano. Sendo o clima da região classificado como semiárido, apresentando uma pluviosidade média anual de 802,7 mm/ano (AESA, 2019). Na Figura 1 pode-se visualizar o Aterro Sanitário estudado.

Figura 1 - Mapa de localização do aterro sanitário.



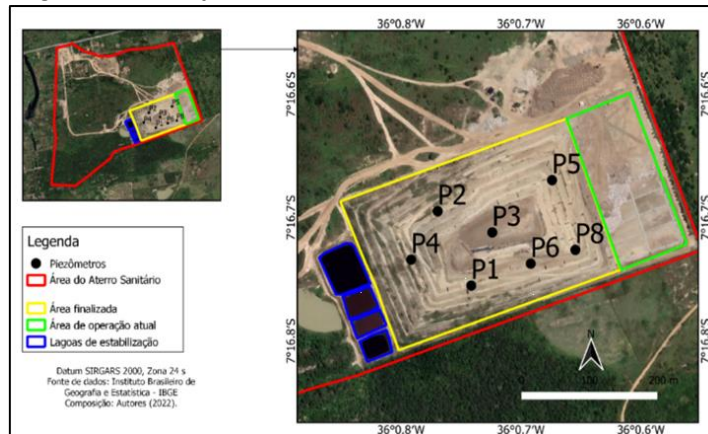
Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

Atualmente, o Aterro Sanitário em estudo recebe Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de 71 municípios, sendo estes municípios localizados nos estados da Paraíba, Pernambuco e do Rio Grande do Norte. O aterro possui uma área de 64 ha, em que 40 ha são destinados à disposição dos RSU. Durante essa pesquisa a área de operação do empreendimento corresponde a três células de RSU, duas finalizadas e uma em fase de operação.

3.2 Videoscopia ótica

Os piezômetros são instrumentos utilizados para o monitoramento do nível piezométrico, ou seja, para a mensuração das subpressões ou poropressões internas ao maciço sanitário (ARAÚJO NETO, 2021). No Aterro Sanitário em questão, os piezômetros instalados são do tipo Casagrande. De acordo com Castro (2008), os piezômetros de Casagrande apresentam como vantagens, a simplicidade construtiva e, conseqüentemente, custos de instalação reduzidos, confiabilidade dos resultados e boa durabilidade das instalações. A disposição dos piezômetros distribuídos na Célula do Aterro Sanitário, seguem critérios estabelecidos pela operação e aspectos de projeto, essa distribuição pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição dos Piezômetros no Aterro Sanitário em estudo.



Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

Os piezômetros no referido aterro sanitário foram instalados em períodos de tempo diferentes e por isso existem duas configurações de piezômetros, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações dos piezômetros.

Especificações	Configuração 1	Configuração 2
Material	Concreto	PEAD
Filtro	1 m	1 m
Diâmetro interno	0,28 m	0,28 m
Diâmetro externo	0,37 m	0,37 m

Fonte: Acervo de pesquisa (2022)

Foram instalados nas Células de RSU no ano de 2018 quatro piezômetros que seguem a Configuração 1. Porém, a partir de adaptações na operação viu-se necessário mudar o material dos piezômetros, adotando a Configuração 2, a partir do ano de 2020. Além das novas tubulações instaladas, os piezômetros P1 e P3 foram modificados para atender a Configuração 2 (Figura 2). A Tabela 2 indica o ano de instalação, a cota e a configuração atual de cada piezômetro instalado na Célula do Aterro Sanitário em estudo.

Tabela 2 - Configuração dos piezômetros.

Piezômetro	Ano de instalação	Configuração	Cotas (m)
P1	2018/2020	Cfg. 1/Cfg. 2	27,5
P2	2018	Cfg. 1	21,5
P3	2018/2020	Cfg. 1/Cfg. 2	34,0
P4	2018	Cfg. 1	20,0
P5	2020	Cfg. 2	12,7
P6	2020	Cfg. 2	16,5
P8	2020	Cfg. 2	16,5

*Obs.: Cfg = Configuração; Cota = altura da base ao topo do piezômetro.

Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

A determinação do nível piezométrico é realizada através da metodologia convencional, utilizando um sensor eletrônico de nível piezométrico com tecnologia de emissão sonora e luminosa (Figura 3). Quando o sensor é inserido no piezômetro e, ao entrar em contato com o lixiviado, emite um sinal sonoro e luminoso. Com auxílio de uma trena se verificava a altura do nível do lixiviado em relação a extremidade superior do piezômetro. Sendo o nível piezométrico determinado pela diferença da altura do piezômetro pela altura do nível do lixiviado em relação a extremidade superior do piezômetro. Porém, por diversas questões operacionais e técnicas essas medidas passaram a sofrer inconsistências. Desta forma, tornou-se necessário adaptar outras metodologias para averiguar o nível piezométrico e a estrutura física interna dos piezômetros.

Figura 3 - Sensor eletrônico de nível piezométrico.



Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

Portanto, a metodologia proposta e executada no desenvolvimento deste trabalho envolve a realização de uma videoscopia em escala real nos piezômetros instalados em células do Aterro Sanitário em estudo.

O procedimento foi realizado por meio da utilização de um equipamento composto por uma câmera de uso industrial, modelo genérico da *mrgo direct store*. Esse equipamento utiliza uma Câmera com proteção ip 67, ou seja, proteção contra poeira e resistente a um mergulho na água de até 1 metro de profundidade, por 30 minutos. Além disso, a câmera possui uma resolução HD (1280x720 pixels) e apresenta iluminação de LED, permitindo o registro de com boa resolução e coloridas. O sensor de vídeo é acoplado a um cabo resistente com diâmetro de 8 mm e 10 m de comprimento, permitindo uma visualização profunda e segura dos piezômetros.

Acoplado ao cabo da câmera existe um conector USB - C, que permite a conexão desse equipamento com um smartphone com sistema operacional Android, que através do aplicativo *inskam* da *app-tools*, é possível processar as imagens de maneira simultânea. Na Figura 4 é possível visualizar o equipamento utilizado.

Figura 4 - Câmera de videoscopia.



Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os resultados obtidos com a inspeção dos piezômetros do Aterro Sanitário utilizando a videoscopia, destaca-se a avaliação da integridade dos piezômetros, a partir das imagens em tempo real. Por meio da videoscopia dos seis piezômetros instalados no aterro, foi possível obter um diagnóstico da situação atual em cada tubulação, em que se constatou que 6 desses estão obstruídos e que em 1 há a presença de líquidos. Além da inspeção, nos locais em que cada situação foi detectada foram medidas as alturas do interior dos piezômetros em relação à camada de cobertura da célula (Tabela 3).

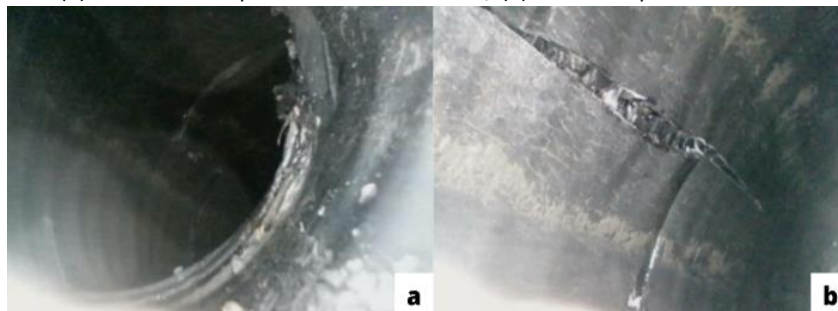
Tabela 3 - Alturas observadas

Piezômetro	Altura de observação (m)	Situação do Piezômetro
P1	7,0	Obstruído
P2	10,0	Identificado Líquidos
P3	5,0	Obstruído
P4	6,0	Obstruído
P5	8,0	Obstruído
P6	3,0	Obstruído
P8	4,0	Obstruído

Fonte: Acervo de pesquisa (2022).

No piezômetro P1, observou-se um obstáculo na continuidade de inserção da câmera, onde a tubulação apresentou uma curvatura, impedindo a continuação da sondagem por videoscopia (Figura 5a). A curvatura da tubulação, bem como o dano sofrido em suas paredes (Figura 5b), são decorrentes da movimentação do maciço sanitário ao longo do tempo, haja vista que, o ano de sua instalação é datado em 2020.

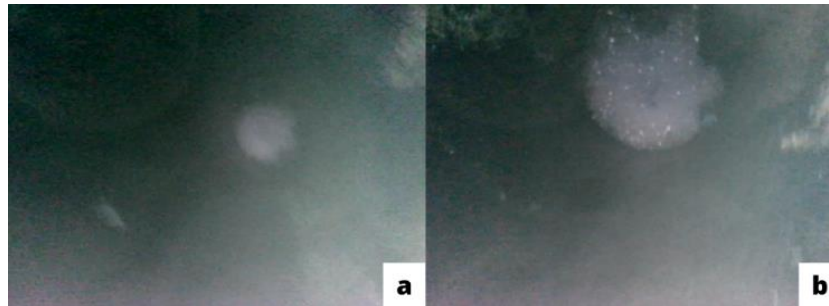
Figura 5 - (a) Piezômetro P1 possivelmente encurvado; (b) Parede do piezômetro P1 danificada.



Fonte: Autores (2022).

Ao longo da avaliação do piezômetro P2, detectou-se a presença de gases, responsável por causar interferência na imagem em alguns momentos da inspeção (Figura 6a). Ao continuar a videoscopia na tubulação, foi identificado aos 10 metros de profundidade a presença de espuma, que representa e confirma a presença de lixiviado no piezômetro P2 (Figura 6b).

Figura 6 – Presença de espuma e saída de gases no piezômetro P2.



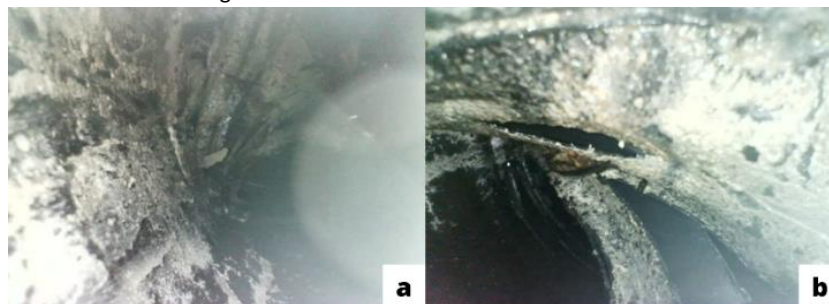
Fonte: Autores (2022).

A Figura 5 indica que o piezômetro P2 não possui obstruções em sua extensão, sendo possível a utilização do sensor de nível de líquidos convencional para monitoramento do nível piezométrico, já que, há livre acesso ao interior da tubulação.

Porém, identificou-se um elevado nível piezométrico, cerca de 10m abaixo da cobertura. Esses níveis podem estar associados ao borbulhamento de gases no interior do piezômetro. Para o Aterro em estudo, por meio de inspeção por videoscopia (Figura 6), foi possível constatar o borbulho de gases no interior do Piezômetro 2, o que seria um indicativo da presença desses gases.

Durante a visualização do interior do piezômetro P3, verificou-se uma obstrução na profundidade de 5 metros (Figura 7a). Ao aproximar a imagem, pode-se perceber uma curvatura da tubulação (Figura 7b). Esta deformação, é proveniente dos deslocamentos do maciço sanitário. Portanto, as medições convencionais para níveis piezométricos ficam inviabilizadas, sendo necessário a atenção da operação do aterro, para constatação real do nível piezométrico nesse ponto da Célula.

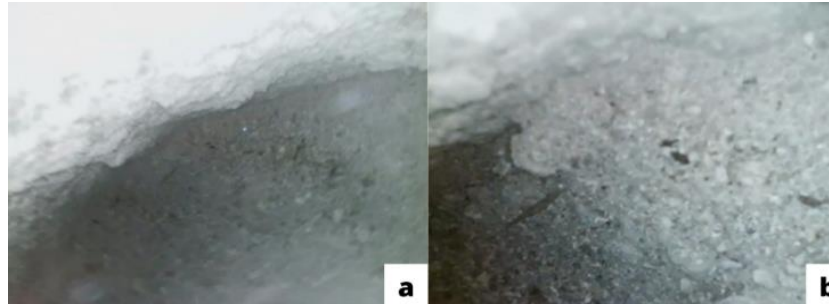
Figura 7 - Interior do Piezômetro P3 obstruído



Fonte: Autores (2022).

O piezômetro P4, utiliza a configuração 1 composto de concreto em sua estrutura (Figura 8a), sendo um dos piezômetros mais antigos instalados na Célula. Ao analisar as imagens da videoscopia, observou-se o fechamento da tubulação devido a verificação da presença de solo em seu interior conforme ilustrado na Figura 8b.

Figura 8 - Interior de piezômetro P4 obstruído com solo

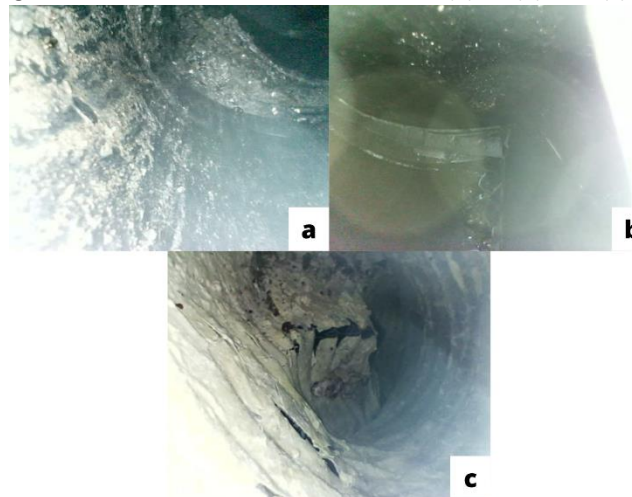


Fonte: Autores (2022).

Existem várias possibilidades para a ocorrência da obstrução do piezômetro P4. A principal é a influência dos deslocamentos e recalques sofridos ao longo de 4 anos de operação do aterro em estudo, que pode ter causado a ruptura da tubulação de concreto. Constata-se também, a presença de solo no interior do piezômetro, indicando que a oclusão do tubo pode ter ocorrido durante o processo de aplicação das camadas de cobertura.

A visualização de imagens internas dos piezômetros P5 (Figura 9a), P6 (Figura 9b) e P8 (Figura 9c) por meio de videoscopia permitiu observar a vedação das tubulações, possivelmente provenientes dos deslocamentos ocorridos no maciço sanitário em 2 anos de instalação desses piezômetros na Célula.

Figura 9 - Interior dos Piezômetros obstruídos (a) P5; (b) P6; e (c) P8



Fonte: Autores (2022).

A inspeção dos piezômetros P5, P6 e P8, revela algumas particularidades do interior das tubulações na Figura 8. O ponto P5, apresentou um bloqueio aos 8 metros causado por danos nas paredes do piezômetro, o que impediu a continuação do exame por vídeo (Figura 9a). Na profundidade de 3 metros, o piezômetro P3 encontra-se fechado. A Figura 9b, permite visualizar os danos às paredes da tubulação, obstruindo a passagem da câmera a maiores profundidades. Outro detalhe sobre esse piezômetro é a presença de gases, que embaçam a lente da câmera dificultando a análise das imagens.

A Figura 9c, refere-se ao piezômetro P8 que apresentou um bloqueio na profundidade de 4 metros. A tubulação nesse local apresenta incrustações, observadas a partir da modificação da coloração habitual dos piezômetros. Outro detalhe importante na análise é a presença de organismos em decomposição na superfície do local obstruído da tubulação.

A integridade física dos piezômetros no interior de uma Célula de RSU, permite a realização do monitoramento do nível piezométrico e, portanto, a análise de poropressão. Analisando as Figuras 5-9, observa-se que os piezômetros se encontram em sua maioria danificados, com exceção do P2, trazendo prejuízos quanto a identificação do nível de pressão neutra real no interior do maciço sanitário. Conseqüentemente, pode causar a redução do Fator de Segurança (FS), na análise de estabilidade de taludes.

4.1 Análise dos resultados

As causas das avarias verificadas podem estar associadas à evolução da operação do aterro sanitário que ocorre à medida que as células vão sendo alteadas, com a disposição de mais resíduos e de camadas de cobertura. Nesse processo, são observadas movimentações no maciço resultantes de deformações provocadas pelos recalques e deslocamentos horizontais ao decorrer do tempo, podendo comprometer a integridade dos piezômetros. Esses deslocamentos podem ter fraturado a tubulação, impossibilitando a inserção e alcance do sensor à lâmina de lixiviado. Por meio dessas fraturas pode ter ocorrido a entrada de líquidos de camadas superiores ao filtro do dreno e contribuído para elevação do nível piezométrico.

As imagens obtidas com a videoscopia foram interpretadas com o intuito de identificar possíveis falhas nos piezômetros. Desse modo, a identificação de problemas na medição dos níveis de líquidos é importante, pois conforme Catapetra e Simões (2016), o monitoramento do nível de líquidos no interior do aterro sanitário deve ser feito para que as poropressões no interior da massa de resíduos sejam conhecidas, auxiliando assim, na análise da estabilidade geotécnica.

Não raramente, bolsões de gás aprisionados nas Células drenam para a atmosfera pelo tubo do piezômetro durante a medição, fazendo o lixiviado jorrar e inviabilizar, portanto, a leitura (BOSCOV, 2008). Esse aspecto de aterros, é ainda mais preocupante quando se tem a obstrução da tubulação instrumentada. Uma vez que, levada em consideração a hipótese de variação não linear da poropressão de líquidos e gases com a profundidade, a obstrução dos piezômetros causa erros nas medições realizadas em campo, inviabilizando as medições periódicas de pressão neutra no maciço sanitário.

Outro problema que poderá causar aumento dos níveis piezométricos é o entupimento ou obstrução do sistema de drenagem horizontal. Para Feng et al. (2019), um aumento no nível piezométrico, induzido pelo entupimento do sistema de drenagem, aumentaria a saturação e a pressão de líquidos em aterros e, em seguida, reduziria o FS. Tendo em vista essa variação, deve-se ter um monitoramento constante do nível de poropressão interna, de modo a controlar se está havendo grande infiltração de água pluvial e até mesmo de volume de lixiviado que poderia ser recirculado na Célula de resíduos.

5. CONCLUSÃO

Os piezômetros são instrumentos importantes no monitoramento geotécnico de aterros sanitários e ao apresentarem avarias, torna-se inviável realizar as inspeções periódicas dos níveis de líquidos e, conseqüentemente, a avaliação geotécnica da integridade e estabilidade das células do aterro é prejudicada, tendo em vista que não há como identificar a evolução das poropressões no maciço sanitário. A utilização de videoscopia para inspeção da integridade física interna, é uma tecnologia de baixo custo, pode ser facilmente operada. Portanto, demonstra-se como uma alternativa viável a ser considerada no monitoramento de poropressão e da estrutura interna dos piezômetros em aterros sanitários.

Esse cenário chama atenção para a necessidade de tomada de medidas no que se refere a resolução das dificuldades encontradas no monitoramento do nível de líquidos, de tal forma, alternativas como a execução de novos piezômetros devem ser consideradas.

6. REFERÊNCIAS

Agência Executiva de Gestão das Águas Do Estado Da Paraíba. **AESA: Meteorologia – Chuvas**. Campina Grande: AESA. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2019-08-30&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em 27 de abril de 2022.

ARAÚJO NETO, C. L. **Modelagem da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos para análises da estabilidade de taludes de aterros sanitários**. 296f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248p.

CAMARGO JUNIOR, A.; PENTEADO, R.A.; GOEBEL, W. Perfilagem Ótica em Poços Tubulares. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. São Paulo, SP. **Anais [...]**. 1988.

CASTRO, L. V. P. **Avaliação do comportamento do nível d'água em barragem de contenção de rejeito alteada a montante**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F. Monitoramento ambiental e geotécnico de aterros sanitários. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 7., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Ibeas, 2016. p. 1-8.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **IBGE cidades: panorama**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em 27 de abril de 2022.

FENG, S. J. et al. Failure of an unfilled landfill cell due to an adjacent steep slope and a high groundwater level: A case study. **Engineering Geology**, [s. l.]. v. 262, 2019.

PÁDUA, A. I. **Determinação das condições de circulação em aquíferos fraturados com auxílio de eletrorresistividade e perfilagem ótica: estudo de caso em Petrolina, PE**. 74f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.



REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Utilização da perfilagem ótica na avaliação de poços tubulares. *In*: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – RS, 2012. **Anais [...]**. Bento Gonçalves – RS, 2012,

SLIMANI, R. et al. Leachate flow around a well in MSW landfill: Analysis of field tests using Richards model. **Waste Management**, v. 63, p. 122-130, 2017.

ZHAN, Liang-Tong et al. Biochemical, hydrological and mechanical behaviors of high food waste content MSW landfill: Liquid-gas interactions observed from a large-scale experiment. **Waste Management**, v. 68, p. 307-318, 2017.