

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
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Análise da Piezometria de um Aterro sobre Solos Moles

Marília Muniz Freire

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, mariliamunizf@gmail.com

Maria Esther Soares Marques

Professora Associada do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, esther@ime.eb.br

Igor da Silva Rocha Paz

Professor Associado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil, igor paz@ime.eb.br

Diego Leonardo Rosa

Especialista de Infraestrutura IV da MRS, Juiz de Fora (MG), Brasil, diego.rosa@mrs.com.br

RESUMO: A construção sobre solos moles é complexa devido à alta compressibilidade e baixas capacidade de suporte e resistência ao cisalhamento desse tipo de solo, que faz com que seja difícil prever o comportamento do solo mole. É indispensável a realização de investigação geotécnica de qualidade nestes depósitos e a instrumentação durante e após execução da obra. Sendo assim, no presente trabalho, busca-se analisar a piezometria instalada sob um aterro ferroviário executado sobre solos moles. O aterro apresentou fissuras na plataforma e nos taludes reveladas a partir de levantamento do histórico da construção do aterro e os períodos de instalação *versus* solicitação. Foi realizada uma compilação dos dados de leituras dos piezômetros instalados em 4 ilhas de investigação ao longo do aterro. Os dados piezométricos foram comparados com a pluviometria e etapas construtivas do aterro. Como esperado, não há relação com os índices pluviométricos, por tratar-se de aterros sobre solos moles, onde os carregamentos impostos pelo aterro e a drenagem são mais relevantes.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro, Solos Moles, Piezômetro.

ABSTRACT: Construction on soft soils is complex due to the high compressibility and low bearing capacity and low shear strength, which makes it difficult to predict the behavior of soft soil. It is essential to carry out geotechnical investigation of quality in these deposits and the instrumentation during and after the execution of earthworks. In the present work, the piezometry installed under a railway embankment executed on soft soils is analyzed. The embankment had cracks in the platform and slopes, as revealed from a survey of the history of the construction of the embankment and the periods of installation versus request. A compilation of data from the readings of piezometers installed in 4 investigation islands along the landfill was carried out. Piezometric data were compared with rainfall and construction stages of the landfill. As expected, there is no relationship with rainfall data, as they are landfills on soft soils, where the loads imposed by the landfill and drainage are more relevant.

KEYWORDS: Embankment, Soft Soil, Piezometer.

1 Introdução

Os projetos e as obras em terrenos com ocorrência de solos moles são um dos maiores desafios da geotecnia, visto que existe dificuldade de se prever o comportamento desse tipo de solo devido às dificuldades na obtenção dos parâmetros de projeto. Uma das maiores preocupações com relação ao desempenho do aterro é a existência do excesso de poropressão em sua fundação que pode comprometer a estabilidade do talude e ainda promover recalques.



Em algumas situações de obra, recomenda-se que seja removida toda a camada de solo mole para espessuras de até 3m. Caso, essa camada ultrapasse 3m, o DNIT (2021) recomenda uma investigação geotécnica mais detalhada a fim de projetar alternativas mais viáveis para construir sobre solos moles. Almeida e Marques (2014) destacam algumas técnicas construtivas para esse tipo de terreno, como por exemplo, construção de aterros em etapas, aterros reforçados, bermas de equilíbrio, aterro sobre estacas, pré-carregamento por vácuo e sobrecarga temporária.

Quanto aos parâmetros geotécnicos obtidos por meio da investigação geotécnica, os autores afirmam que esses parâmetros do solo são fundamentais para elaborar projetos, planejar e executar a obra em segurança. Dessa forma, eles podem ser obtidos por meio de ensaios de campos, ensaios de laboratório e interpretação dos resultados da instrumentação.

A instrumentação é indispensável para obter dados da obra durante sua execução e pós construção. Através da interpretação dos dados de monitoramento é realizado um estudo comparativo entre os parâmetros adotados em projeto e os estimados a partir do monitoramento. Por meio da instrumentação, é possível medir deslocamentos horizontais e verticais e a poropressão, e a partir da análise destes dados estimar os parâmetros.

A instrumentação, nas últimas décadas, tem se automatizado cada vez mais, com sistemas integrados de inclinômetros, piezômetros, extensômetros com o GPS, parâmetros geotécnicos e dados de projeto fazendo com que o processo de informação seja feito em tempo real e disponibilizado online.

Independente da tecnologia empregada, para obter uma boa qualidade dos resultados da instrumentação, é fundamental uma boa seleção dos equipamentos e uma equipe técnica capacitada para a instalação e operação dos instrumentos, a fim de obter dados confiáveis e a interpretação dos resultados em tempo hábil (DUNNICLIFF, 1988).

O piezômetro é um equipamento de monitoramento, utilizado para medir a poropressão. Caso ocorra um aumento súbito da poropressão, o aterro pode romper e; com a dissipação da poropressão, pode ocorrer recalque do aterro e eventualmente de qualquer estrutura construída sobre ele.

Este estudo tem como objetivo principal analisar a piezometria instalada em um aterro ferroviário construído sobre solos moles, a partir do levantamento do histórico da obra do aterro e os períodos de instalação *versus* solicitação e realizar uma comparação da piezometria com a pluviometria local.

2 Piezometria

A grande problemática ao se construir sobre solos moles, como dito anteriormente, é saber como esse solo vai se comportar. Em projeto, estima-se o comportamento geotécnico, porém no terreno o comportamento real pode ser diferente. A Figura 1, retrata a diferença de comportamento de um aterro sobre solo mole no projeto *versus* na realidade.

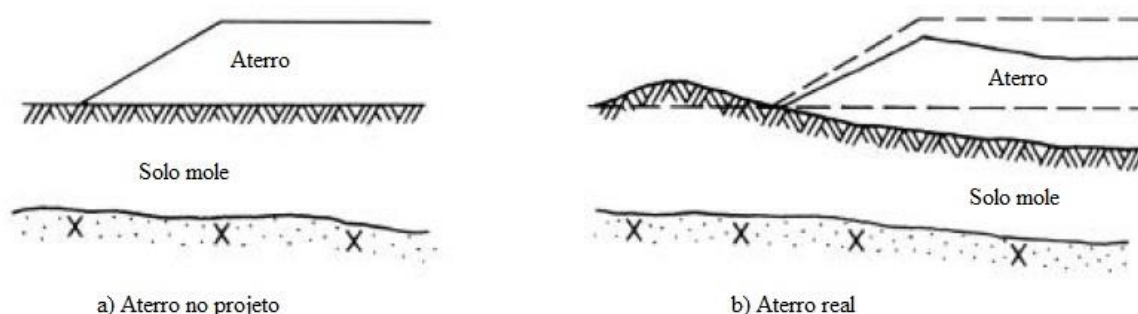


Figura 1: Comportamento de um aterro em projeto x realidade (DUNNICLIFF, 1988)

As principais evidências de instabilidade visíveis no aterro são a presença de deslocamentos horizontais e verticais, gerando o surgimento de recalques, fissuras e trincas. A elevação ou diminuição acentuada e repentina da poropressão pode conduzir, em uma situação mais extrema, à ruptura.

Os piezômetros podem ser do tipo Casagrande, também denominado de tubo aberto, e do tipo elétrico de corda vibrante (Figura 2). Segundo Almeida e Marques (2014), os piezômetros de Casagrande são os mais



empregados no monitoramento de aterros sobre solos moles e são menos onerosos e, durante sua instalação, é possível executar o ensaio de permeabilidade *in situ*.

Oliveira (2006) apresentou um estudo de 3 trechos de um aterro monitorado durante sua construção sobre solos moles utilizando os dois tipos de piezômetros. Embora os piezômetros elétricos apresentem um custo mais elevado, o piezômetro de corda vibrante apresentou facilidade de uso, uma maior acurácia nos seus dados, com leituras precisas e de fácil obtenção.

A instalação do piezômetro tipo Casagrande é feita basicamente por um tubo PVC cravado, em que a extremidade instalada no solo mole é perfurada e envolvida por um geotêxtil funcionando como filtro, evitando a colmatagem. Ao redor do tubo, é feito inicialmente o preenchimento com areia na profundidade da leitura piezométrica. O trecho superior é preenchido com bentonita, material de baixa permeabilidade utilizado para selar o piezômetro de forma que não funcione apenas como um medidor de nível d'água, como representado na Figura 2 (A).

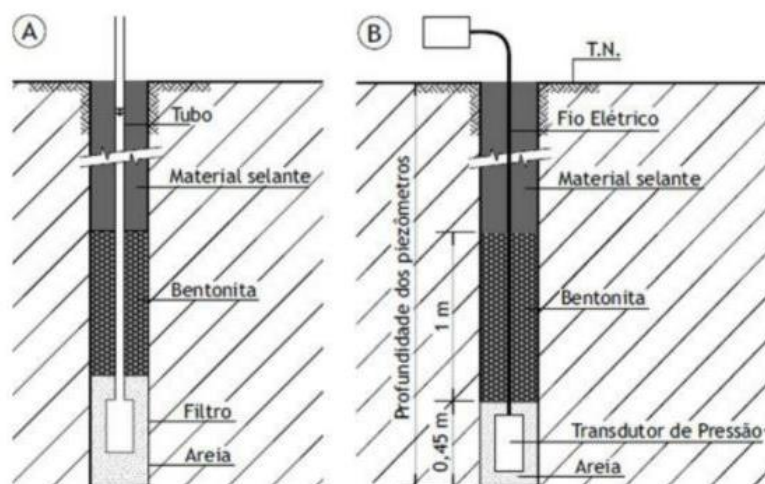


Figura 2: Detalhamento dos piezômetros: (A) Casagrande e (B) Elétrico (Almeida e Marques, 2014)

A água percola para dentro do tubo pela região do filtro ocasionando a variação de pressão. As leituras do piezômetro Casagrande podem ser realizadas com um pio elétrico. A leitura da poropressão no piezômetro elétrico é através de um diafragma acoplado a um transdutor elétrico, que ao sofrer alteração na frequência da vibração é transmitida a um sistema de aquisição de sinais (ALMEIDA e MARQUES, 2014).

3 Local de estudo

As características do aterro ferroviário em estudo são: altura média de 25m, 750m de extensão, seção transversal de aproximadamente 1800m². De uma maneira geral, a estratigrafia do terreno local é constituída por uma argila siltosa vermelha no corpo do aterro com um N_{SPT} variando de 5 a 16; na fundação do aterro, está presente um solo silte argiloso amarelado com N_{SPT} entre 22 e 35, subjacente ao aterro. No terreno adjacente, onde a espessura do aterro é menor, o N_{SPT} reduz, variando de 2 à 4, apresentando uma espessura de 8 metros de argila siltosa preta e argila plástica preta, com espessura de 4 a 6 metros.

O tráfego no aterro em estudo iniciou-se em 1989. Em 2010, surgiram os primeiros registros de trincas que atravessavam a crista do aterro. Após as primeiras fissuras, em 2011, um sistema de Drenos Horizontais Profundos (DHP) e poços de alívio foram instalados a fim de coletar a água que percola no aterro, aliviar a tensão gerada pela água e direcionar para a sistema de drenagem composto por trincheiras drenantes no pé do aterro e paralelo à ferrovia (SILVA, 2015).

O autor ainda relata que os trens trafegaram pelo trecho com uma velocidade de 20km/h e que, neste período, as atenções foram dobradas para o aterro a fim de alertar sobre qualquer movimentação, conduzindo à eventual suspensão do tráfego. Atualmente, o trem trafega com uma velocidade de 58 km/h, porém, na ocorrência de chuva, a velocidade do trem é reduzida.

Além disso, a via foi deslocada em caráter emergencial, como forma de contornar a área afetada. A Figura 3, apresenta a aplicação de solo-cimento em fissuras que apareceram ao longo da plataforma ferroviária.



Figura 3: Trincas na plataforma ferroviária.

As trincas avançaram para a face do talude e continuavam aparecendo na plataforma ferroviária. Observou-se que, no período chuvoso, as trincas apareciam em um formato contínuo e, na época de estiagem, as trincas apareciam de forma descontínua e muito próxima às trincas do período chuvoso.

4 Metodologia

O monitoramento da piezometria adotada neste estudo teve como base a instrumentação de quatro ilhas de investigação implantadas em 2018, nelas estão presentes inclinômetros, medidores de nível d'água, piezômetro Casagrande e elétrico. A locação dessas ilhas está representada na Figura 4. Os piezômetros de Casagrande e elétrico de uma mesma ilha estão na mesma cota de instalação, como pode ser visto na Tabela 1. Além disto, a Tabela 1 apresenta as cotas do terreno natural, do aterro, de instalação dos instrumentos e a profundidade dos piezômetros e Medidores de Nível de Água (MNA).

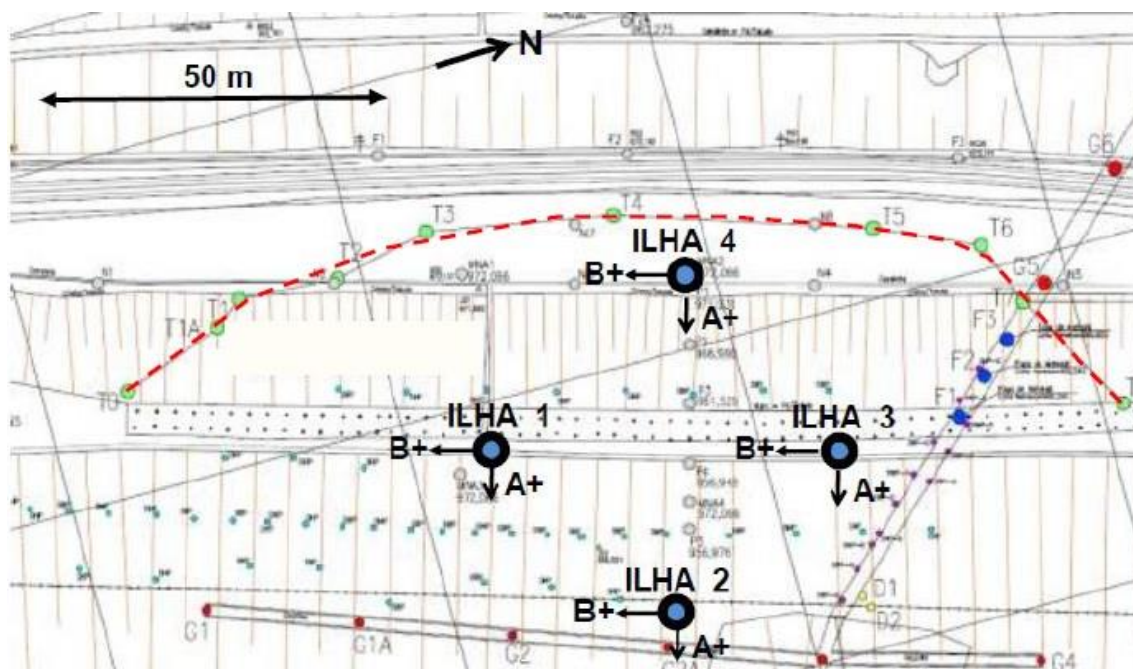


Figura 4: Planta de locação dos piezômetros no aterro



Tabela 1: Detalhamento das cotas em cada Ilha

Ilha	Instrumento	Cota do terreno natural (m)	Cota do aterro (m)	Cota de instalação (m)	Profundidade (m)
1	MNA 1	944,0	957,3	944,3	13
1	PZs 1		957,9	925,4	31
2	MNA 2	942,0	954,5	942,5	12
2	PZs 2		954,4	922,2	30
3	MNA 3	943,0	957	943	14
3	PZs 3		957,5	933,5	35,5
4	MNA 4	942,0	972,1	958,6	13,50
4	PZs 4		972,1	943,5	27

Juntamente com os dados do piezômetro, buscou-se analisar os dados da pluviometria da região. Com os dados pluviométricos e os dados do piezômetro, foi realizada uma análise associando esses dados ao surgimento de trincas e fissuras. Buscando uma possível relação entre estes eventos ao longo dos anos.

Para otimizar a análise dos dados, os dados obtidos em kPa pelo piezômetro Casagrande foram transformados em valores de cotas a fim tornar viável a comparação entre os dados do piezômetro e dos medidores de nível d'água.

5 Resultados e discussões

Em uma análise dos dados da pluviometria obtidos pelos dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e utilização do software Hidro para exportar os dados, foi possível obter o gráfico de pluviometria nos últimos dez anos, de 2010 a 2020, conforme a Figura 5.

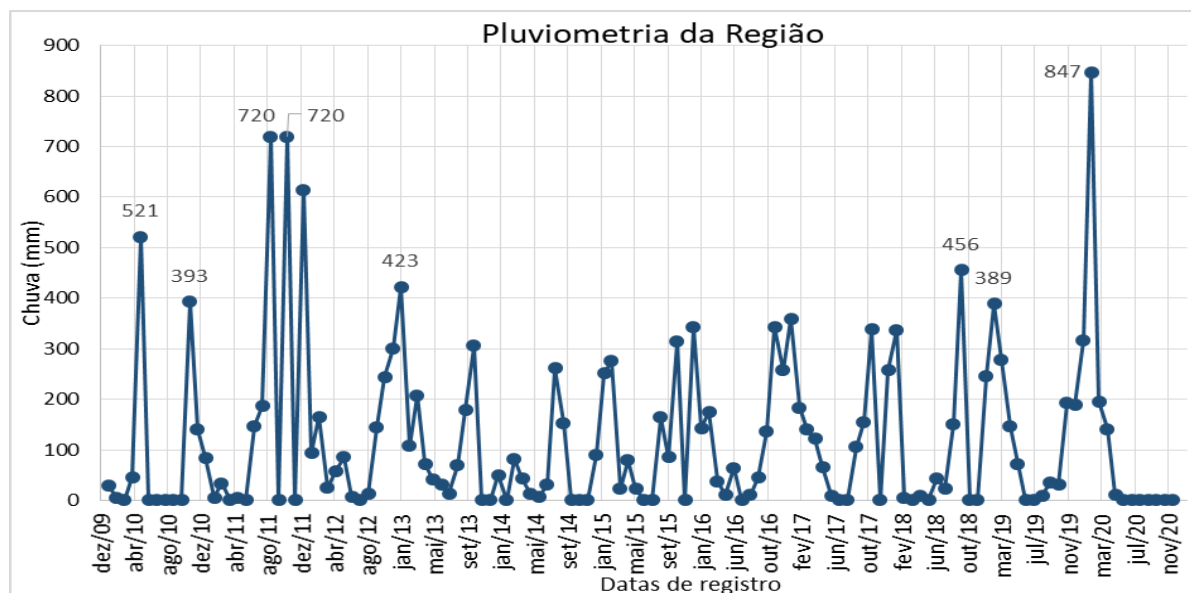


Figura 5: Pluviometria nos últimos 10 anos na região da ferrovia. (ANA,2021)

De acordo com o gráfico e com os relatórios disponibilizados, a percepção das trincas ocorreu em meados de 2010, com recorrência das fissuras e surgimentos de novas, ao longo da crista do aterro nos picos de chuvas. Nesse período, não havia instrumentação no local.

Na Figura 6, é apresentado o nível d'água medido. Observa-se que, na região das ilhas 1 e 4, o NA é superior ao da região das ilhas 2 e 3, que são afetadas pelas galerias de drenagem próxima.

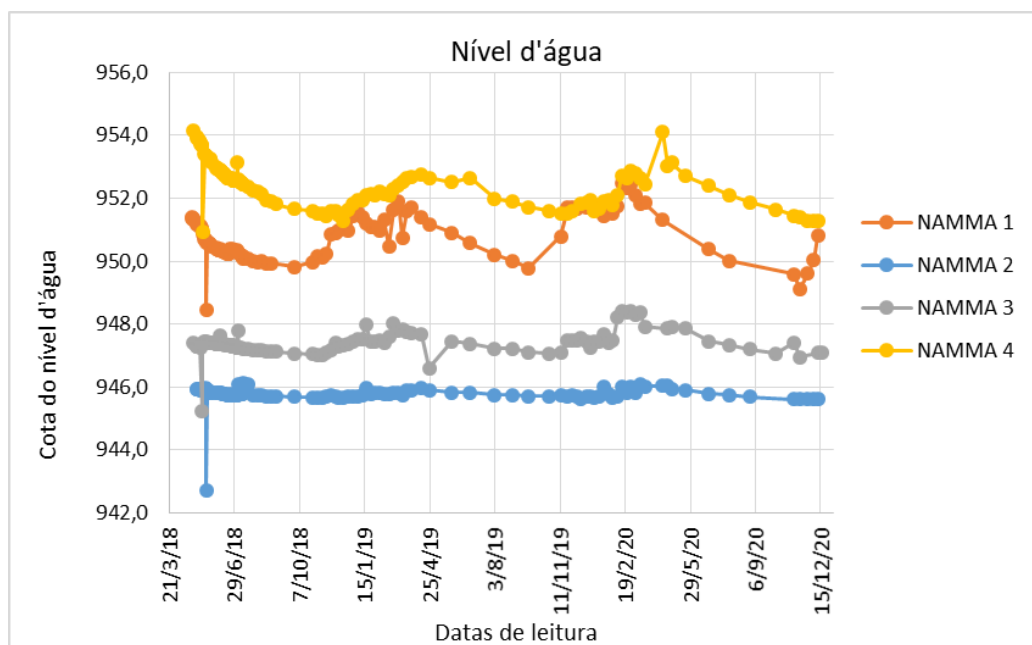


Figura 6: Registros dos níveis d'água das Ilhas

Nas Figuras 7 a 10, são apresentadas as leituras dos piezômetros Casagrande (PZC) e elétrico (PZE) transformado em cota a partir da poropressão medida e o medidor de nível d'água (MNA) das Ilhas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Na ilha 1, os níveis d'água medidos pelo MNA são maiores que os dos piezômetros. Os valores do NA médios no MNA são claramente influenciados pela pluviometria elevada nos meses de janeiro e fevereiro

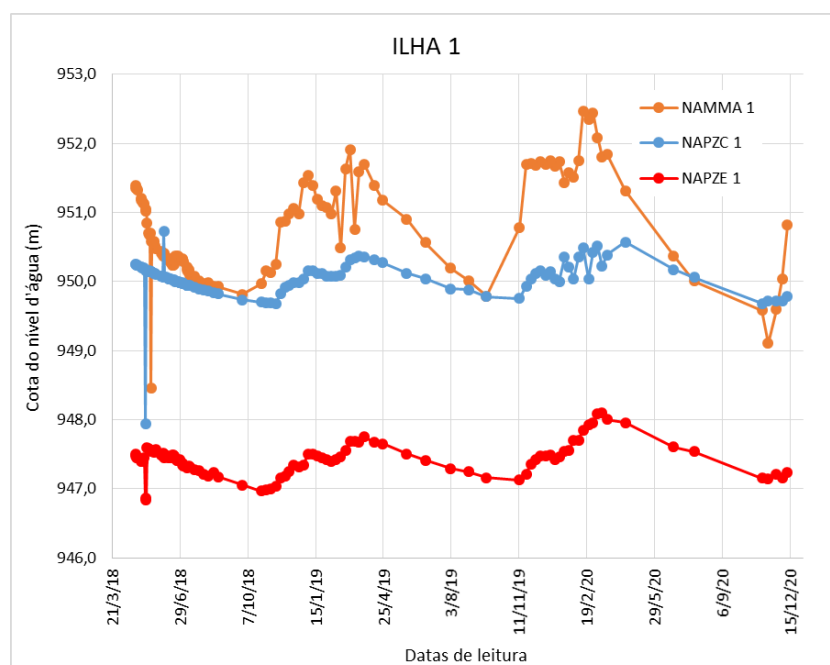


Figura 7: Resultados dos piezômetros e MNA da Ilha 1

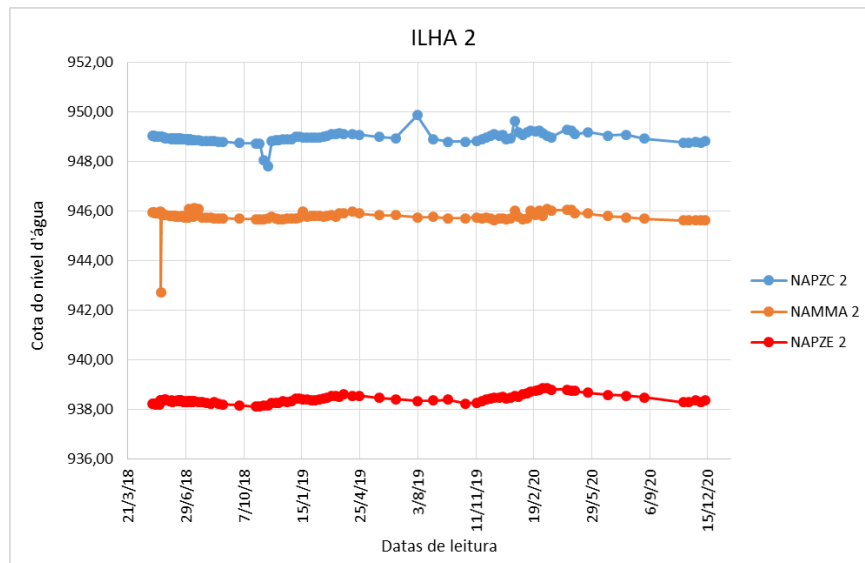


Figura 8: Resultados dos piezômetros e MNA da Ilha 2

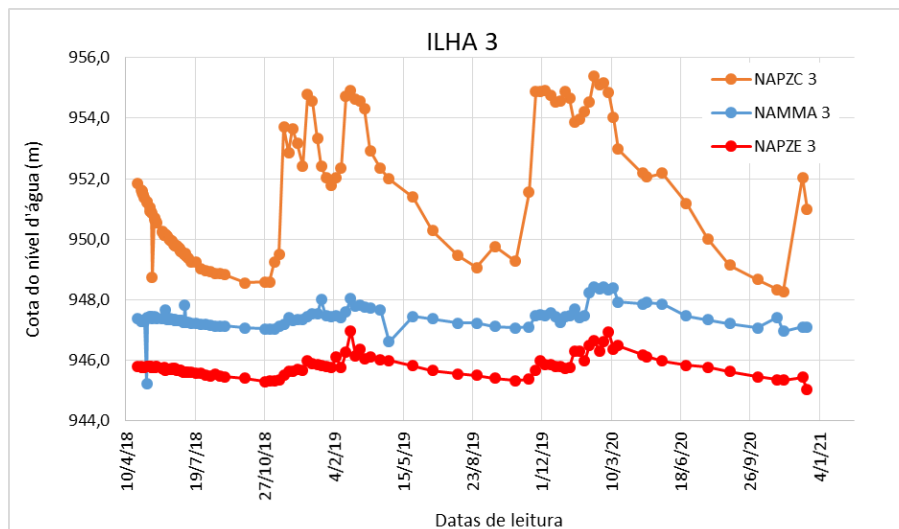


Figura 9: Resultados dos piezômetros e MNA da Ilha 3

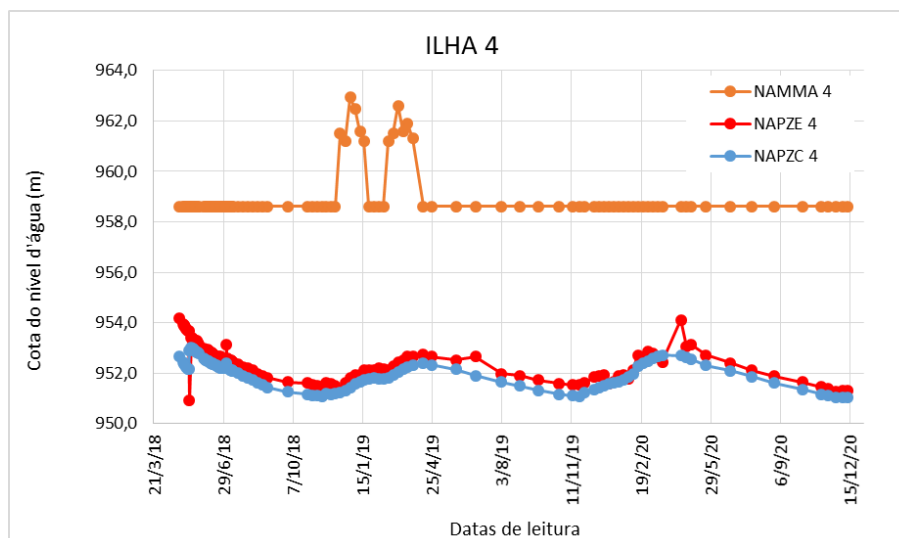


Figura 10: Resultados dos piezômetros e MNA da Ilha 4



Nas ilhas 2 e 4, os níveis d'água medidos nos MNAs além de inferiores aos das demais ilhas não são influenciados pela pluviometria. Na ilha 3, o nível d'água medido é influenciado pela pluviometria; e os piezômetros apresentam NAs medidos inferiores ao medido pelo MNA.

Esperava-se que o valor de poropressão do piezômetro fosse superior ou igual à poropressão hidrostática calculada a partir do MNA. Entretanto, o que se observa é que os valores são inferiores na maioria dos casos. É possível que o sistema de drenagem instalado tenha causado diminuição da poropressão no solo, fazendo com que haja um fluxo descendente para a galeria de drenagem instalada na cota 945m.

Ao analisar a piezometria e as cotas dos MNA, os picos pluviométricos apresentados em 2019 e 2020, conforme representado na Figura 6, geram reflexo nos MNA com o aumento das cotas do nível d'água neste mesmo período, nas quatro Ilhas e um ligeiro aumento nas cotas de NA dos piezômetros, como pode ser visto na Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10.

6 Conclusões

O presente artigo buscou realizar a análise da piezometria de um aterro ferroviário executado sobre solos moles. Esse tipo de análise é importante para qualquer depósito de solos moles, sempre visando obter uma previsão do comportamento do solo.

Sendo assim, de acordo com a pluviometria local, existe um aumento das cotas dos níveis d'água, nos períodos chuvosos, refletindo nos registros dos MNAs.

As poropressões registradas nos piezômetros, de uma forma geral, apresentaram-se inferiores às pressões hidrostáticas calculadas, logo, pode-se dizer que não há indícios de excesso de poropressão no interior do depósito, além disto há indícios de fluxo descendente para a galeria de drenagem.

A partir desta análise, recomenda-se que os dados piezométricos sejam analisados simultaneamente aos dados dos MNA. Além disto, é necessário que a análise seja conduzida ao longo do tempo, correlacionando com as intervenções ocorridas na obra, como foi o caso da instalação do sistema de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA – (2021). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 03 dez 2021.
- Almeida, M. e Marques M.E.S.(2014) *Aterro sobre solos moles projeto e desempenho*. 2º ed. Editora: Oficina de textos, São Paulo.
- DNIT381/2021 - *Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias*. Rio de Janeiro.
- Dunnichiff, J. *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*, New York, John Wiley & Sons, Inc. 577p.,1988.
- Oliveira, H. M. (2006). *Comportamento de aterros reforçados sobre solos moles levados a ruptura*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.
- SILVA, V. E.(2015). *Patologias e soluções em aterros ferroviários: um estudo de caso do aterro do km 196 na Ferrovia do Aço*. Monografia de Pós-Graduação em Transporte Ferroviário de Carga do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2015.