

# Desafios Geotécnicos em Obras de Arte Especial no Interior de São Paulo: Investigação e Diagnóstico de Recalques Excessivos

Mateus Porto Fleury

Engenheiro Civil, Solotechnique Engenharia e Consultoria Geotecnica, Jundiaí, Brasil, mateus.fleury@solotechnique.com.br

Professor, Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), São Caetano do Sul, Brasil, mateus.fleury@maua.br

André Querelli

Sócio Diretor, Solotechnique Engenharia e Consultoria Geotecnica, Jundiaí, Brasil, andre.querelli@solotechnique.com.br

Tiago de Jesus Souza

Sócio Diretor, Solotechnique Engenharia e Consultoria Geotecnica, Jundiaí, Brasil, tiago.souza@solotechnique.com.br

Professor, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, Brasil.

**RESUMO:** No interior de São Paulo, os encontros de duas obras de arte especiais (OAEs) apresentaram recalques excessivos (na ordem de 10cm). Diante desses recalques, tornou-se imperativo investigar suas causas. Este artigo visa apresentar os processos de diagnóstico aplicados a esses casos específicos. Inicialmente, foi proposta uma nova campanha de sondagem de simples reconhecimento (SPT). A revisão bibliográfica abrangente da região das OAEs revelou a possível presença de solo com comportamento colapsível, uma faceta não captada pelas campanhas de investigação disponíveis. Diante desse cenário, ensaios de cisalhamento direto foram conduzidos em duas amostras indeformadas obtidas de cada OAE, nas condições inundada e não inundada. Os resultados desses ensaios evidenciaram uma considerável redução nos parâmetros de resistência do solo (entre 50 e 60% o intercepto coesivo e 5 a 10% no ângulo de atrito) quando submetido à condição inundada, comparativamente à condição não inundada. Estes casos de obra enaltecem a importância da análise geológica da região de interesse para complementar as análises de investigação de campo. Ademais, embora ensaio oedométrico duplo seja a melhor ferramenta para diagnóstico de solos colapsíveis, a realização de ensaios de cisalhamento direto sob estas condições pode ser vista como uma ferramenta rápida capaz de identificar este tipo de solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cisalhamento Direto, Inundação, Recalques Excessivos, Análise Geológica, Parâmetros de Resistência.

**ABSTRACT:** In the province of São Paulo, the abutments of two bridge structures showed excessive settlement (in the order of 10 cm). Faced with this level of settlement, it was necessary to evaluate its causes. The aim of this paper is to present the diagnostic procedures applied to these specific cases. Firstly, a comprehensive literature review of the subsoil revealed the possible presence of soil with collapsible behaviour, which had not been observed during the available investigation campaigns. Direct shear tests were then carried out on two undeformed samples taken from each bridge structure, in both flooded and non-flooded conditions. The results of these tests showed a significant reduction in the soil strength parameters (between 50 and 60 per cent in the cohesion and 5 to 10 per cent in the friction angle) in the flooded condition compared to the non-flooded condition. These case studies have highlighted the importance of geological analysis of the area of interest to complement the analysis of field investigations. Furthermore, although double oedometer tests are the best way to diagnose collapsible soils, performing direct shear tests under these conditions can be seen as a quick method capable of identifying this type of soil.

**KEYWORDS:** Direct Shear Test, Flooding, Excessive Settlement, Geological Analysis, Strength Parameters.

## 1 Introdução

No âmbito da engenharia civil, os projetos são concebidos considerando duas análises distintas: estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS). Assim, embora o dimensionamento de uma estrutura

indique a não ruptura de seus elementos (ou da estrutura como um todo; ELU), as deformações dos elementos e da estrutura devem ser avaliados (no ELS) a fim de garantir a funcionalidade da referida obra. No que tange a engenharia de fundações, o mesmo se aplica, de modo que a avaliação dos recalques dos elementos de fundação são cruciais na concepção do projeto.

Em pontes e viadutos, aterros são comumente executados para formarem rampas de acesso a fim de atingir o nível da passagem superior. A ocorrência de recalques na região dos aterros dos encontros propicia o desenvolvimento de degraus ou ressaltos entre o pavimento da ponte e o pavimento do encontro (aterro). Segundo Briaud e Hoffman (1997), este desnível afeta cerca de 25% das OAEs dos Estados Unidos (EUA), e geram um custo de manutenção na ordem de US\$ 100 milhões por ano. Além dos custos envolvidos em manutenção, Rodrigues (2019) enaltece que a qualidade da via e a segurança dos usuários são afetadas. A fim de evitar o desconforto dos usuários, níveis de recalques diferenciais, cujos os quais manutenções corretivas devam ser adotadas, foram propostos por Leonhardt (1979; 1/200 – lê-se “1 cm para 200 cm”) e Ha et al. (2002; 1/125).

White *et al.* (2007) destacam que os recalques dos encontros podem decorrer de alguns fatores: i) deformação do material do aterro, ii) recalque do solo de fundação do aterro, iii) práticas de construção deficientes, iv) cargas de tráfego elevadas, v) drenagem deficiente, vi) material de aterro ruim, vii) erosão do aterro viii) juntas deficientes e ix) variação de temperatura. De particular relevância para este artigo, destaca-se a compressibilidade do material de aterro ou do solo de fundação.

Devido ao clima subtropical (com alternância entre estações chuvosas e secas) atuante em quase todo o território brasileiro, forças capilares, forças físico-químicas e agentes cimentantes presentes no contato entre os grãos provocam o surgimento de uma coesão aparente que contribui para a estabilidade temporária do solo (Dudley, 1970). Em alguns casos, o aumento no teor de umidade promove a quebra dessas ligações (sejam elas decorrentes de forças capilares ou físico-químicas) diminuindo a resistência ao cisalhamento, fazendo com que os grãos se desloquem um sobre o outro, provocando brusca redução volumétrica do solo, fenômeno conhecido como colapso (Araki, 1997; Peixoto, 1999).

O estudo do comportamento mecânico de solos colapsíveis é realizado através do índice de vazios do solo, cuja variação provoca o rearranjo estrutural do maciço, atribuindo a ele uma nova condição de equilíbrio (Ferreira e Villar, 2015). Comumente, ensaios oedométricos duplos, ou seja, com amostras na condição saturada e não saturada, são realizados para identificar e avaliar o potencial de colapso do solo. Neste sentido, Escario e Saez (1973), através de ensaios oedométricos com sucção controlada, comprovaram que não é necessária a completa saturação do solo para que ocorra o fenômeno de colapso.

Alguns ensaios mais simples podem dar um indício da presença de solo com comportamento colapsível. Segundo Guimarães (2002), os solos com comportamento colapsível tendem a apresentar baixa resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ; inferior a seis golpes) e alto valor do coeficiente de permeabilidade (devido à alta porosidade). Santos *et al.* (2018) realizaram ensaios de cisalhamento direto na condição inundada e não inundada e reportaram redução de 37,5% do ângulo de atrito. Ademais, os autores relataram redução de 53,1% no coeficiente de empuxo no repouso do mesmo solo, quando submetido a condição de aumento no teor de umidade.

Neste contexto, este artigo objetiva apresentar um estudo geotécnico realizado para diagnosticar os recalques ocorridos nos tabuleiros de aproximação de duas obras de arte especiais (OAEs) localizadas no interior do estado de São Paulo. Cabe destacar que as demais análises geotécnicas (i.e., estabilidade de taludes, capacidade de carga dos elementos da fundação, entre outros) não estão no escopo do presente artigo.

## 2 Metodologia

### 2.1 Descrição das obras

Os dois casos de obra apresentados neste artigo referem-se a obras de arte especial (OAE) de dispositivos de retorno de uma rodovia estadual localizada no interior do estado de São Paulo. Por questões de confidencialidade, optar-se-á por não indicar a rodovia, a localização e as demais informações que venham a revelar as empresas envolvidas no projeto e execução das obras, concomitantemente com a empresa administradora da via. A Figura 1 apresenta a vista em planta das OAEs.

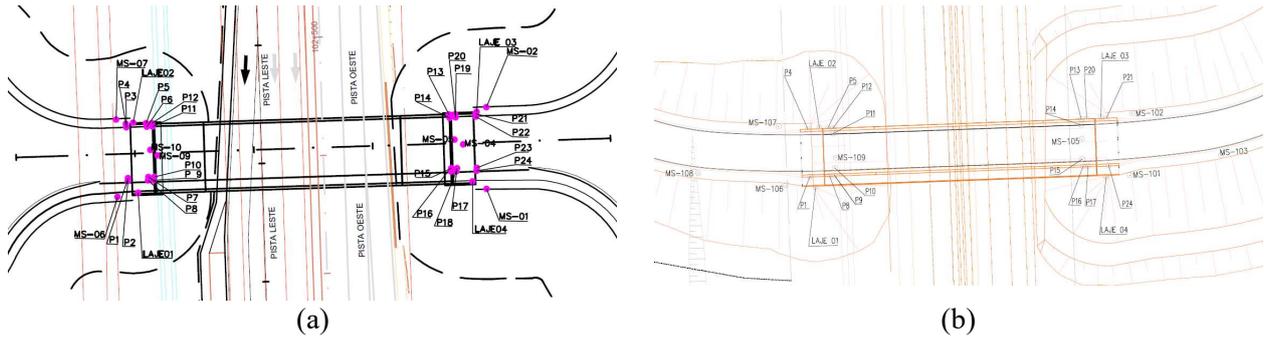


Figura 1. Vista em planta, com pontos de monitoramento, dos dispositivos de retorno: (a) OAE 1; (b) OAE 2.

### 2.1.1 Caso de Obra 1

A superestrutura do Caso de Obra 1 é constituída por concreto armado convencional e estruturas pré-moldadas (vigas e pré-lajes), com quatro apoios (dois centrais e dois nos encontros). Deste modo, a estrutura é composta por três vãos retos de vigas pré-moldadas (bi apoiadas), com dois trechos de 9,04 m (entre apoios e tabuleiros de aproximação) e um trecho (intermediário) com 31,93 m de comprimento (entre os apoios centrais). Nos apoios centrais, há dois pilares de 100 cm de diâmetro apoiados em blocos sob estacas ( $5 \times \phi 50$  cm; 13 m de comprimento) do tipo pré-moldada. As vigas são apoiadas sobre neoprenes e estes sobre calços de apoio.

Quanto à região dos encontros, a face frontal é constituída por paramentos e as abas laterais em concreto armado solidarizados com os blocos de coroamento das estacas de fundação. Deste modo, os calços estão sobre travessas que se apoiam em estacas pré-moldadas ( $5 \times \phi 50$  cm; 19 m de comprimento). Destaca-se que os aterros dos encontros possuem alturas na ordem de 9,20 m.

Quanto ao perfil estratigráfico da obra, foram realizadas três campanhas de investigação: a primeira realizada entre setembro de novembro de 2015, a segunda, em agosto de 2021, e a terceira, em agosto de 2023. Segundo essas campanhas (Figura 2a), até a cota de 580 m solo composto por argila areno-siltosa com valores de resistência à penetração abaixo de 20 golpes. Abaixo da cota 580 m, o solo é argiloso com significativa presença de areia e silte, e apresenta aumento gradativo dos valores de  $N_{SPT}$  com a profundidade. Quanto ao nível d'água, o mesmo encontra-se próximo a cota 577 m.

### 2.1.2 Caso de Obra 2

A superestrutura do Caso de Obra 2 é constituída por concreto armado convencional e estruturas pré-moldadas (vigas e pré-lajes), com quatro apoios (dois centrais e dois nos encontros). Deste modo, a estrutura é composta por três vãos retos de vigas pré-moldadas (bi-apoiadas), com dois trechos de 7,68 m (entre apoios e tabuleiros de aproximação) e um trecho (intermediário) com 26,22 m de comprimento (entre os apoios centrais). Nos apoios centrais, há dois pilares de 100 cm de diâmetro apoiados em blocos sob estacas ( $4 \times \phi 50$  cm; 17 m de comprimento) do tipo pré-moldada. As vigas são apoiadas sobre neoprenes e estes sobre calços de apoio.

Quanto à região dos encontros, assim como no Caso de Obra 1, a face frontal é constituída por paramentos e as abas laterais em concreto armado solidarizados com os blocos de coroamento das estacas de fundação. Deste modo, os calços estão sobre travessas que se apoiam em estacas pré-moldadas ( $5 \times \phi 50$  cm; 20 m de comprimento). Destaca-se que os aterros dos encontros possuem alturas na ordem de 9,00 m.

Na região de interesse, foram realizadas duas campanhas de investigação: a primeira, entre setembro de agosto de 2021, e a segunda, em agosto de 2023. O subsolo desta OAE possui (Figura 2b), até a cota de 631,5 m, solo composto por argila silto-arenosa com valores de resistência à penetração acima de 10 golpes até a cota 638 m e abaixo de 10 golpes entre as cotas 631 m e 635 m. Abaixo da cota 630 m, o solo é predominante siltoso, ora com presença marcante de areia e outrora com argila. Em termos de valores de  $N_{SPT}$ , este apresenta um aumento com a profundidade, atingindo valores superiores a 50 golpes abaixo da cota 620 m. Quanto ao nível d'água, o mesmo encontra-se próximo a cota 630,5 m.

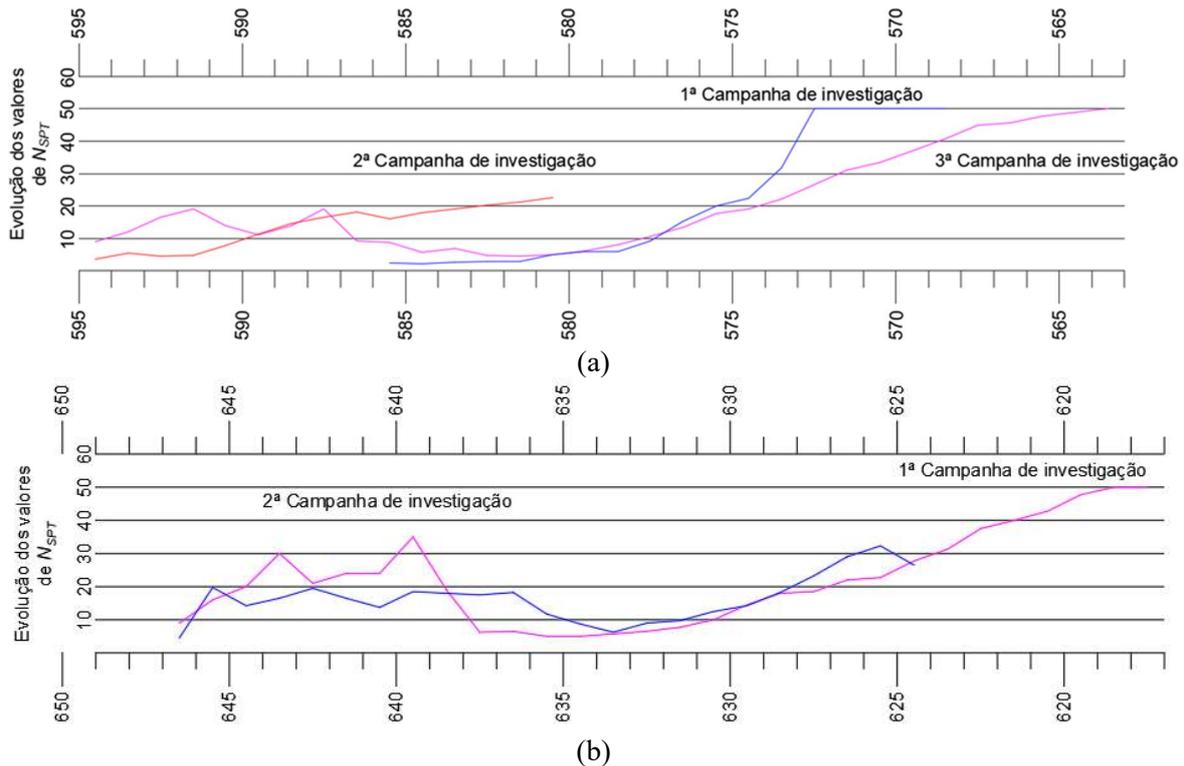


Figura 2. Variação dos valores de  $N_{SPT}$  da (a) OAE 1 e (b) OAE 2 com a profundidade.

## 2.2 Descrição do problema

Ambas OAEs foram construídas no início de 2018 e tiveram monitoramento de recalques iniciado em outubro de 2020. Doze pontos em cada laje de aproximação (48 pontos no total, 24 para cada caso de obra; Figura 1) foram instrumentados. A partir de maio de 2021, as instrumentações revelaram recalques significativos sob a viga travessa dos encontros de ambas OAEs. Ademais, as lajes de aproximação, que conectam a estrutura da OAE com o aterro dos encontros, acompanharam os recalques (Figura 3). Deste modo, optou-se por intensificar as leituras das instrumentações para melhor acompanhamento da OAE. A Figura 4 apresenta a evolução dos recalques dos encontros de cada OAE.

Em virtude destes deslocamentos, análises de estabilidade dos aterros dos encontros foram realizadas para cada OAE. Simultaneamente, novas análises das leituras das instrumentações revelaram que os recalques desenvolvidos em maio de 2021 ocorreram de forma abrupta e a estrutura encontrava-se estabilizada, sem movimentações progressivas que pudessem indicar ruptura da mesma (estabilização dos deslocamentos na Figura 4). Outrossim, a análise de estabilidade de talude realizada revelou condição adequada de estabilidade, estando em concordância com as inspeções de campo realizadas (corpo do aterro sem evidências de instabilidade). Em complemento, a estrutura da OAE não apresentava indício de danos estruturais.



(a)



(b)

Figura 3. Patologias decorrentes dos recalques ocorridos no aterro dos encontros da (a) OAE 1 e (b) OAE 2.

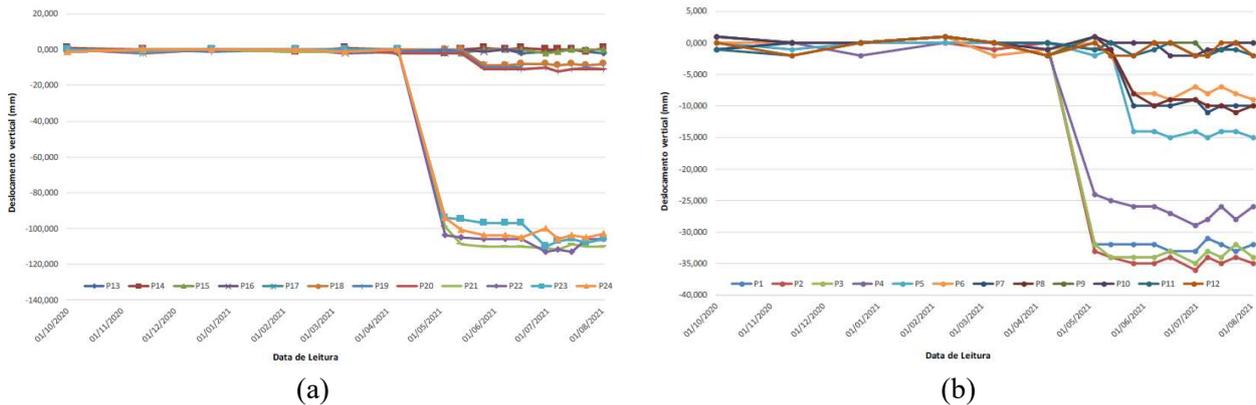


Figura 4. Patologias decorrentes dos recalques ocorridos no aterro dos encontros da OAE 1 e OAE 2.

### 2.3 Estudo para diagnóstico do problema

Frente à problemática proposta, um novo estudo geotécnico foi realizado com a finalidade de diagnosticar a ocorrência de recalques observados no aterro dos encontros. Neste caso, recorreu-se a estudos geológico-geotécnicos que revelaram que o solo da região, em que estão construídas as OAEs, é geologicamente denominado de sedimento cenozoico. Este sedimento apresenta como principal característica o fenômeno de colapso (redução abrupta do volume de solo decorrente do aumento do teor de umidade do solo). A presença do solo com potencial colapsível na região em questão pode ser validada pela similitude dos recalques ocorridos nos encontros da OAE em questão e dos que ocorreram no campo experimental da UNICAMP, visto que ambas as regiões possuem mesma formação geológica.

À luz da provável presença de solo colapsível no subsolo das OAEs, uma nova campanha de sondagem foi realizada, contando com sondagens na cota do encontro e também na cota da base dos taludes (próxima às cotas da via abaixo das OAEs). Embora ensaios edométricos duplos, em amostras inundadas e não inundadas, sejam os ensaios mais adequados para a determinação da colapsibilidade do solo, optou-se por realizar ensaios de cisalhamento direto com duas amostras indeformadas de solo coletadas na base dos taludes de cada OAEs (quatro amostras indeformadas no total, duas para cada talude).

Os ensaios foram realizados nas condições não inundada e inundada em todos blocos de amostra indeformada coletados. Para cada bloco de amostra, os ensaios foram realizados nas tensões normais de 25, 50, 100, 200, e 400 kPa seguindo as recomendações da ASTM D3080 (2004).

## 3 Resultados e discussões

### 3.1 Resultado dos ensaios de cisalhamento direto

Nos ensaios de cisalhamento direto, obtêm-se curvas que relacionam a deformação horizontal, em %, e a tensão cisalhante aplicada, em kPa. Os resultados dos ensaios realizados nas amostras obtidas da OAE 1 (Figura 5) mostram-se bastante semelhantes. Nota-se que a redução da resistência ao cisalhamento é superior a 35% para tensões normais aplicadas abaixo de 100 kPa. Já no caso das tensões normais superiores a 100 kPa, as reduções ficaram entre 10 e 25%.

No caso dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados nas amostras indeformadas da OAE 2, as duas amostras apresentaram resultados diferentes. Para os corpos de prova ensaiados do primeiro bloco indeformado (Figura 6a e 6c) nota-se que a redução da resistência ao cisalhamento é superior a 35% para tensões normais aplicadas abaixo de 100 kPa. No caso da tensão normal de 400 kPa, a redução foi próxima de 22,5%. O ensaio realizado sob tensão normal de 200 kPa apresentou resultado distinto dos demais, com iguais valores de resistência ao cisalhamento (130kPa) independente da condição de inundação.

Os corpos de prova ensaiados do segundo bloco indeformado (Figura 6b e 6d) também indicaram redução da tensão cisalhante na ruptura quando em condição inundada. Para tensões normais inferiores a 50 kPa, as reduções na tensão cisalhante na ruptura foram superiores a 40%, enquanto esta redução se manteve entre 10% e 25% para as amostras ensaiadas com mais de 100 kPa de tensão normal.

Esta análise revela que o solo investigado, quando em condição de inundação, ou seja, após incremento do teor de umidade, apresenta uma significativa redução das tensões de cisalhamento. Tendo em vista que a resistência do solo é função das tensões cisalhantes que o mesmo consegue suportar, nota-se que o solo perde

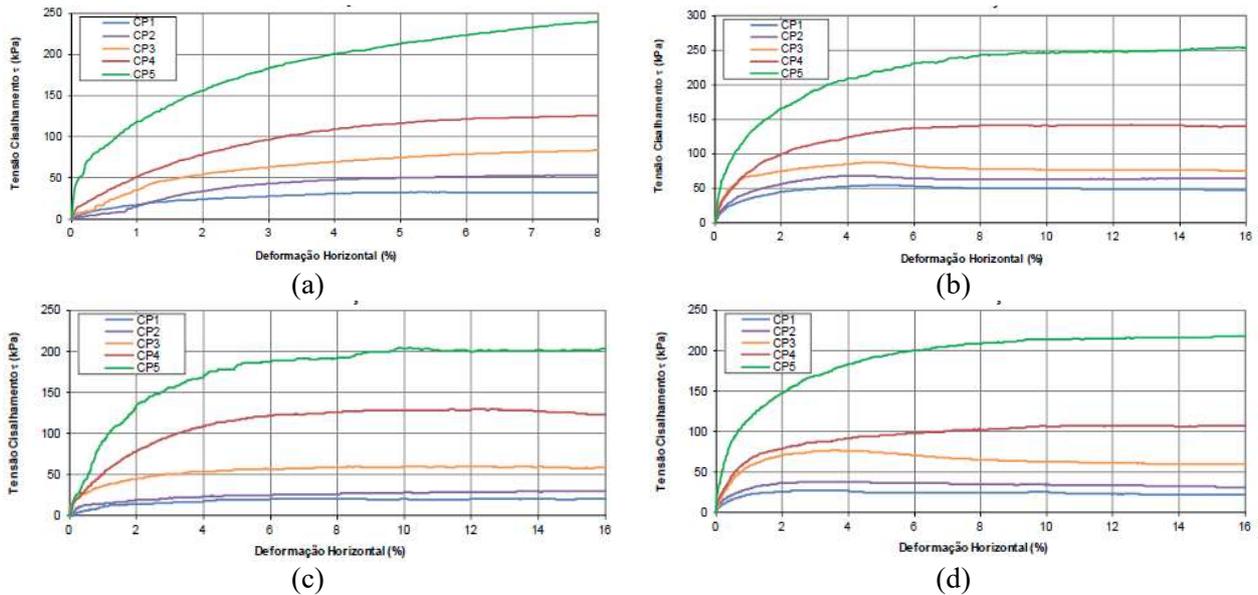


Figura 5. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizadas em amostras não inundadas (a e b) e inundadas (c e d) da OAE 1.

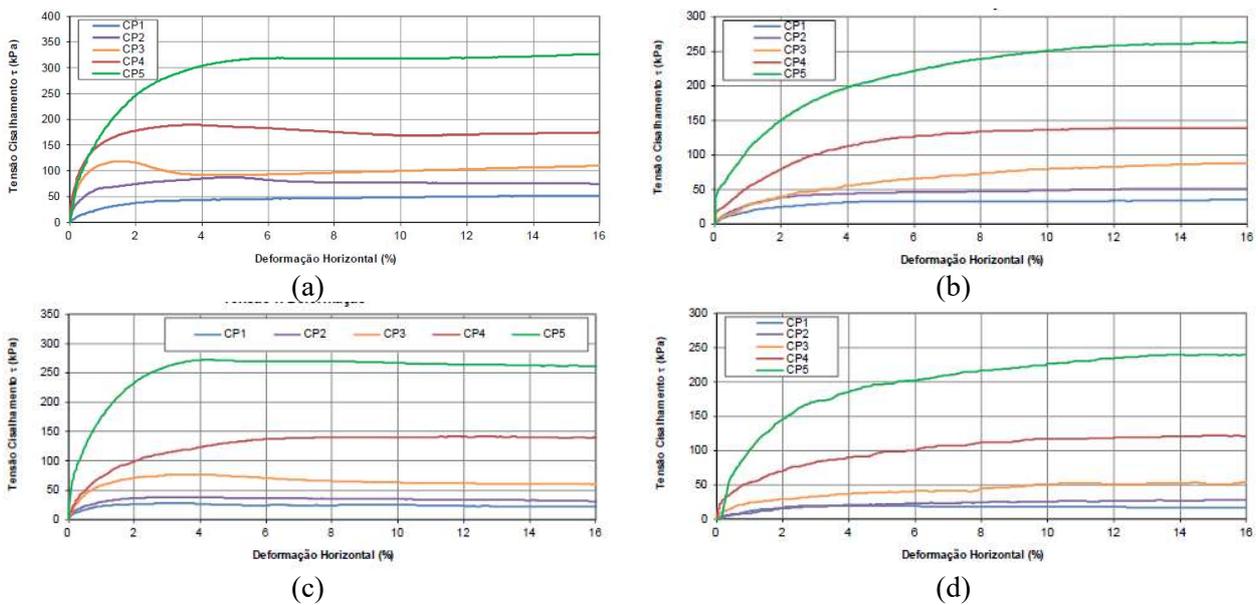


Figura 6. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizadas em amostras não inundadas (a e b) e inundadas (c e d) da OAE 2.

resistência sob condição de inundação, tornando-o mais suscetível às deformações volumétricas, ou seja, recalques.

### 3.1 Análise das envoltórias de ruptura

Os ensaios de cisalhamento direto também podem ser avaliados por meio da envoltória de ruptura. Tradicionalmente, o modelo de Mohr-Coulomb consiste em um modelo simplificado que é bastante utilizado para representar a envoltória de ruptura do solo em estabilidade de taludes, fundações, barragens e outros projetos geotécnicos. Para este modelo, a envoltória de ruptura do solo é dada por duas parcelas (coesão e ângulo de atrito) segundo a Equação 01.

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi + c \tag{1}$$

onde  $\tau$  é a tensão cisalhante do solo;  $\sigma$ , a tensão normal aplicada ao solo,  $c$ , o intercepto coesivo, e  $\phi$ , é o ângulo de atrito do solo.

Com base nesta hipótese, a Figura 7 apresenta a envoltória de ruptura obtida a partir dos ensaios de cisalhamento direto realizados em condição não inundada e inundada, nos blocos indeformados da OAE 1. A primeira vista, é notório que as envoltórias de ruptura do solo na condição inundada (representada pela reta em coloração cinza na Figura 7) encontra-se abaixo da envoltória de ruptura do solo na condição não inundada (representada pela reta em cor preta na Figura 7). Ao se comparar as envoltórias de resistência, fica mais evidente a influência da inundação na resistência do solo. Quanto ao intercepto coesivo, o mesmo apresenta uma redução de 52% e 57% nos blocos indeformados 1A (Figura 7a) e 1B (Figura 7b), respectivamente. Em termos do ângulo de atrito, a redução é inferior, entre 5 e 10%.

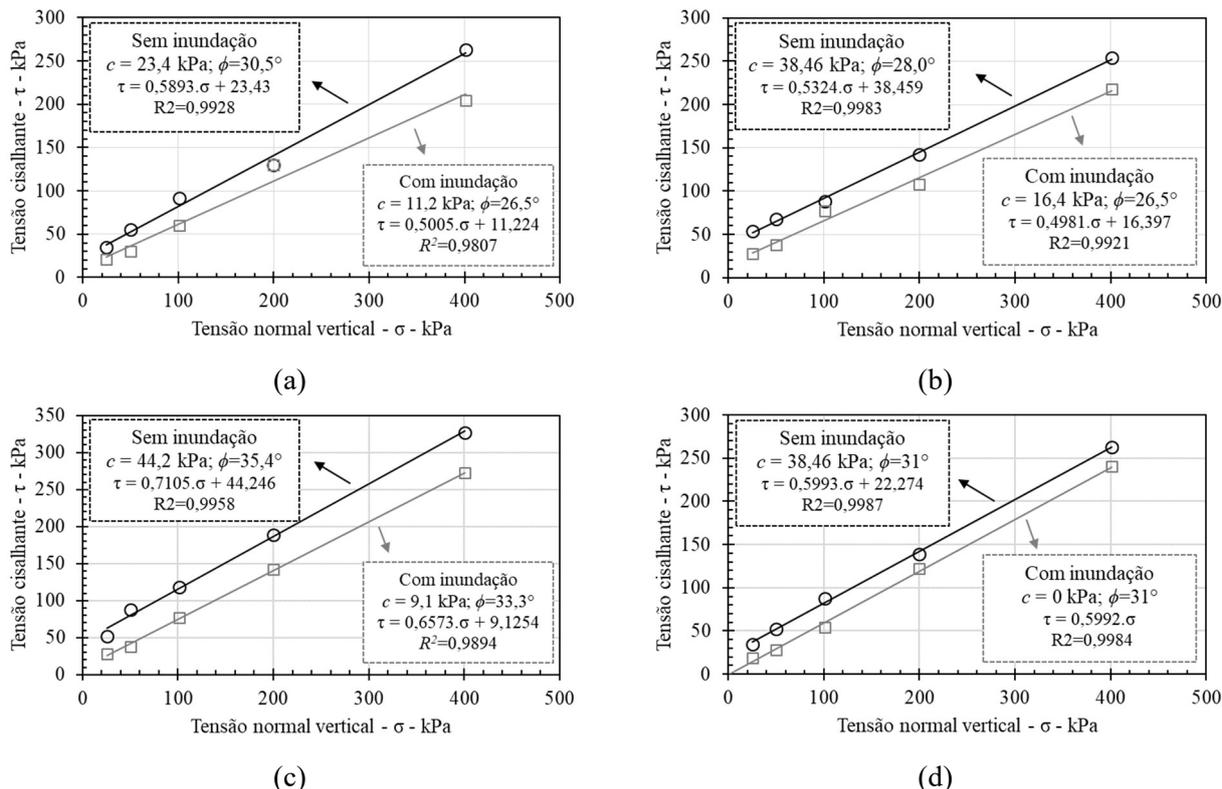


Figura 7. Envoltória de ruptura a partir dos ensaios de cisalhamento direto realizados nos blocos indeformados: 1A (a) e 1B (b) obtidas da OAE 1; e 2A (c) e 2B (d) obtidas da OAE 2.

Resultados semelhantes podem ser observado nas envoltórias obtidas a partir das amostras indeformadas da OAE 2. A comparação das envoltórias de ruptura nos estados não inundado e inundado revelam significativa redução do intercepto coesivo (entre 50% e 100% nos blocos indeformados 2A (Figura 8c) e 2B (Figura 8d), respectivamente), e redução superior do ângulo de atrito (7% a 13%) comparada a redução sofrida por este mesmo parâmetro no caso da OAE 1 (entre 5 e 10%).

Portanto, com valores de intercepto coesivo e ângulo de atrito inferiores aos obtidos sob condição não inundada, constata-se que o solo presente na fundação da OAE sofre significativa perda de resistência quando em contato com água, ou seja, quando se eleva seu teor de umidade. Deste modo, constata-se que o solo em questão apresenta uma tendência de colapso, que é característico dos solos oriundos da formação geológica da região.

Com base nos resultados obtidos da campanha de investigação, análise geológica geotécnica e ensaios de cisalhamento direto realizados, tornou-se possível diagnosticar a causa dos recalques excessivos com maior acertividade. Verifica-se que os recalques evidenciados nos tabuleiros de aproximação da OAE decorrem de dois fatores: i) o espesso aterro (>7m) construído para acesso a OAE está assentado em solo compressível, ou seja, que tende a recalcar ao longo do tempo; e ii) este mesmo solo, além do problema de compressibilidade, possui comportamento colapsível oriundo da formação geológica que lhe deu origem.

## 5 Conclusão

Frente a recalques excessivos ocorridos em obras de arte especial (OAEs), que compõem um dispositivo de retorno de uma rodovia, viu-se a necessidade de diagnosticar a suas ocorrências. O diagnóstico foi realizado com base em i) nova campanha de investigação realizada, ii) avaliação geológico-geotécnica da região, e iii) ensaios de cisalhamento direto (inundado e não inundado) realizados em amostras indeformadas.

Os deslocamentos verticais dos encontros da OAE decorreram de uma brusca redução volumétrica do solo (recalque) em maio de 2021. Após este período, constata-se uma estabilização dos recalques, ou seja, pequenos incrementos de deslocamento além do que fora medido no mês de maio/2021. A campanha de investigação geotécnica realizada demonstrou que os valores de resistência à penetração sofreram redução (de 20 golpes para menos de 10 golpes) ao longo de 5 metros do solo de fundação do aterro. Outra redução também ocorreu abaixo do nível d'água. Contudo, as análises a partir da campanha de investigação se mostraram insuficientes para determinar a causa dos recalques medidos.

De posse da campanha de investigação e da formação geológica da região, levantou-se a hipótese da presença de solo compressível e colapsível na fundação. Mediante os resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados em amostras indeformadas na condição inundada e não inundada, verifica-se significativa redução de resistência da fundação quando ensaiado sob condição inundada (elevado teor de umidade). Em outras palavras, o material tem a tendência de perder, momentaneamente, sua resistência ao cisalhamento e, por conseguinte, sob atuação de tensões, ocorrem os recalques (redução do índice de vazios do maciço). Esta característica, comum a solos colapsíveis, está coerente com o solo da região e decorre da formação geológica.

Deste modo, os recalques medidos procedem da presença de um solo compressível na fundação da OAE que, devido à execução da espessa camada de aterro, é suscetível a recalques ao longo do tempo. Em acréscimo, uma intensa redução volumétrica decorreu do colapso do solo, quando sofreu aumento de seu teor de umidade.

## Referências bibliográficas

- Alexandrino Santos, B.N.; Teixeira, G.H.O.; Montenegro, A.F.; Constantino, C.S.; Pereira da Silva, I.M.; Freitas, M.L.R.A.; Lins, C.M.M.S.; Ferreira, S.R.M. (2018). Influência da inundação sobre a resistência ao cisalhamento e coeficiente de empuxo no repouso de um solo colapsível no município de Petrolina – PE. In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2018. ABMS, Salvador, Bahia, 11p.
- Araki, M. S. (1997). Aspectos relativos às propriedades dos solos porosos colapsíveis do distrito federal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Briaud, J.L.; Hoffman, S.B. (1997). Settlement of Bridge Approaches: The bump at the end of the bridge. *Transportation Research Board.*, p. 85.
- Ferreira, S.R.M; VILLAR, O.M. (2015). Solos não saturados no contexto geotécnico. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Cap. 15, Pgs. 415 – 440.
- Guimarães, R.C. (2002). Análise das Propriedades e Comportamento de um Perfil de Solo Laterítico Aplicada ao Estudo do Desempenho de Estacas Escavadas. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Ha, H.S.; Seo, J.; Briaud, J.L. (2002). *Investigation of settlement at bridge approach slab expansion joint: Survey and site investigations*. The Texas A&M University. College Station, p. 450.
- Leonhardt, F. (1979). *Construções de Concreto: Princípios básicos da construção de pontes de concreto*. 1a. ed. Berlim: Interciência Ltda., v. 6.
- Peixoto, R.J. (1999). Aplicação de Modelos Constitutivos na Avaliação do Comportamento Mecânico da Argila Porosa Colapsível do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Rodrigues, J. (2019). Geoenrijecimento para melhorar solos moles sob aterros de encontros de pontes. *Softsoil Brazilian Review*, 4, p.4-13.
- White, D.J.; Mekkay, M.M; Sritharan A.M.S.; Suleiman, M.T. (2007). “Underlying” causes for settlement of bridge approach pavement systems. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 21(4), p.273-282.