

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

# Caracterização de Materiais para a Aplicação em Solo Transparente

Luiz Felipe Pereira de Brito

Estudante, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, britofelipe85@gmail.com

Gregório Luís Silva Araújo

Professor, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, gregorio@unb.br

**RESUMO:** Atualmente, é possível observar a evolução do uso da técnica de solo transparente como uma ferramenta valiosa para visualizar e analisar os fenômenos físicos que ocorrem no solo real, tais como o fluxo de fluidos, transporte, contaminação, interação solo-estrutura, dentre outros. Basicamente, o solo transparente é constituído por uma parte sólida e outra líquida que, ao serem misturadas, tornam a amostra de solo transparente. Neste trabalho, a caracterização dos materiais para a produção do solo transparente é apresentada. A metodologia utilizada baseou-se na obtenção do material a ser empregado como grão no solo transparente bem como na aquisição do fluido a ser empregado. Para isso, buscas por poro fluidos foram realizadas bem como os testes de índices de refração dos mesmos utilizando um refratômetro digital portátil. Os resultados demonstram que os poro fluidos Vaseline 1 e 2 investigados neste estudo têm grande potencial para a aplicabilidade em solos transparentes. E que, ao misturar dois óleos minerais através de proporção de cada um, é possível obter o índice de refração ideal da amostra dos poro fluidos, e assim, juntar-se ao quartzo fundido e confeccionar o solo transparente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo transparente, técnica não intrusiva, Geotecnia.

**ABSTRACT:** Currently, it is possible to observe the evolution of the use of the transparent soil technique as a valuable tool to visualize and analyze the physical phenomena that occur in real soil, such as fluid flow, transport, contamination, soil-structure interaction, among others. Transparent soil consists of a solid and a liquid part, which when mixed makes the sample transparent. In this work, the characterization of materials for the production of transparent soil is presented. The methodology used was based on obtaining the material to be used as grain in the transparent soil as well as on the acquisition of the fluid to be used. In order to obtain this objective, searches for pore fluids were performed as well as the measurement of their refractive index. The results demonstrated that the fluids Vaseline 1 and 2 investigated in this study have great potential for applicability in transparent soils. Furthermore, by mixing two mineral oils, it is possible to obtain the ideal refractive index.

**KEYWORDS:** transparent soil, non-intrusive technique, Geotechnics.

## 1 Introdução

Nos últimos tempos, é possível observar o crescimento do uso da técnica de solo transparente para problemas geotécnicos. Em alguns países ela já é difundida como, por exemplo nos Estados Unidos e Canadá (Liu et. al 2003, Ezzein & Bathurst 2010 Ezzein & Bathurst 2014, Peng & Zornberg 2017, Peng & Zornberg 2019) e na Europa (Mckelvey et al. 2004, Black 2015, Jan Derksen et al. 2021). No Brasil, a técnica ainda é pouco utilizada, mas alguns trabalhos já podem ser encontrados (Carvalho 2015 e Lopes 2019 por exemplo).

Carvalho (2015) apresenta em seu trabalho, a caracterização geotécnica de solos transparentes juntamente com a utilização de técnicas de processamento de imagens digitais, em especial a técnica DIC (Digital Image Correlation), e aplicação em problemas geotécnicos a partir de modelagem física. O autor estudou dois poros fluidos inéditos para confeccionar o solo transparente: um poro fluido à base de óleos minerais nacionais e outro à base de água e iodeto de sódio tratado com tiosulfeto de sódio. Os resultados demonstram que o uso de solos transparentes e técnicas de processamento digital de imagens oferecem



informações importantes acerca do comportamento do solo e são ferramentas que complementam e auxiliam estudos complexos de vários problemas geotécnicos na época atual.

Por definição, o solo transparente é uma mistura composta de duas fases: a primeira é a fase sólida que contém os agregados e a segunda é a fase líquida, composta pelo poro fluido de saturação. A transparência é obtida usando materiais e fluidos com índices de refração idênticos, permitindo a penetração completa da luz, tornando assim, a amostra transparente (Iskander et al., 2002b).

O índice de refração (IR) é uma propriedade física fundamental para obtenção do solo transparente. Tal propriedade é a razão entre a velocidade à qual uma onda de luz viaja através do material em comparação com a velocidade da luz que viaja através do vácuo. (Tipler, 1999).

É importante destacar que, quando a luz viaja de um meio para outro de diferente IR, parte da luz é refletida e parte da luz entra no segundo meio, conforme a Figura 1. Entretanto, quanto mais próximo forem os índices de refração entre dois materiais, menor será a reflexão.

Para tornar a amostra transparente os índices de refração de ambos os meios devem ser iguais que, ao serem misturados, a reflexão é eliminada e os dois meios parecerão homogêneos, fazendo com que a luz consiga atravessar de um meio para outro sem interferências.

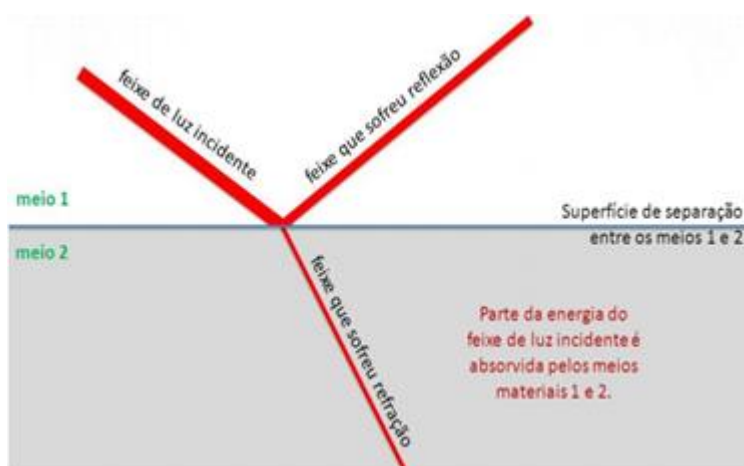


Figura 1. Reflexão e refração da luz em meios com IR distintos (Lopes, 2019).

Atualmente, os principais materiais utilizados para criação do solo transparente são: pó sílica amorfa, gel de sílica, sílica fundida, quartzo fundido, aquabeads, gelbeads e Laponina. E esses são combinados com uma série de diferentes fluidos como, por exemplo, óleos minerais, óleo parafínico, óleo branco, mistura de salmoura, solução de sacarose e água com o objetivo de se encontrar uma combinação que fosse transparente (Lopes, 2019).

## 2 Objetivo

O presente trabalho visa estudar diferentes materiais para seu emprego como solo transparente. E, como objetivos específicos têm-se: caracterizar os óleos minerais, observar se as misturas dos óleos funcionam e realizar testes da combinação vidro quebrado e óleo mineral para obter o solo transparente.

## 3 Metodologia

A metodologia utilizada consistiu, primeiramente, na obtenção do material a ser empregado como grão no solo transparente bem como na aquisição do fluido a ser usado, e para isso, houve o processo de caracterização dos materiais utilizados na fabricação do solo transparente, bem como a preparação das amostras.

A seleção do fluido a ser empregado baseou-se na medição do índice de refração do líquido, que neste trabalho foi o óleo mineral. E, posteriormente, comparar o valor do índice de refração do fluido com o índice de refração do quartzo fundido. Se o índice de refração medido do líquido for igual ao do quartzo fundido, conclui-se que este é o poro fluido ideal para a confecção do solo transparente. Caso contrário, é necessário



trocar o fluido testado ou utilizar uma mistura de mais de um poro fluido, para assim, atingir o índice de refração desejável.

O quartzo fundido é uma forma não cristalina de areia de quartzo fabricada pela fusão da sílica cristalina natural a temperaturas na ordem de 2000° C e posterior esfriamento (Lopes, 2019). Além disso, ele difere do tradicional em não conter nenhum outro ingrediente, que normalmente é adicionado ao vidro para diminuir a temperatura de fusão. O quartzo fundido detém propriedades óticas e térmicas do quartzo superiores aos dos outros tipos de vidro, devido à sua elevada pureza (Ezzein e Bathurst, 2011). A Tabela 1 mostra um resumo das propriedades do quartzo fundido.

Tabela 1. Propriedades do quartzo fundido (Guzman et al., 2013).

| Propriedade                    | Valor   |
|--------------------------------|---------|
| Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | 2,2     |
| Resistência a tração (MPa)     | 48      |
| Dureza (escala de mohs)        | 4 – 6,5 |
| Modulo de elasticidade (GPa)   | 72      |
| Aparência                      | Clara   |
| Coefficiente de Poisson        | 0,16    |
| Índice de refração             | 1,4585  |

O vidro empregado nesta pesquisa foi advindo de uma empresa de vidros em Brasília-DF, na qual disponibilizaram refugos de vidros. Após o armazenameno incial das amostras, foi realizada sua quebra e peneiramento. Para os ensaios, foram empregadas as partículas de vidro que ficaram retidas nas peneiras N° 4 (4,8 mm) e 10 (2,0 mm).

Neste trabalho, a determinação do índice de refração dos fluidos foi realizada com auxílio de um refratômetro digital portátil, modelo RTD-95 do laboratório de Geotecnia da UnB (Figura 2). O refratômetro realiza leitura na faixa de 1,3330 a 1,5400 com uma precisão de  $\pm 0,0005$  nD. Assim, pode-se medir um bom intervalo de índices de refração.



Figura 2. Refratômetro digital portátil do laboratório de Geotecnia da UnB.

Para a confecção do solo transparente, fez-se necessário a obtenção da mistura entre o grão solido (quartzo fundido) e o poro fluido com transparência adequada. Os óleos minerais para os testes de índice de refração deste estudo são: Vaselina 1 e 2 (V1 e V2), Garden Light 1 e 2 (GL1 e GL2) e o Óleo Mineral USP (USP), e estão apresentados na Figura 3.



Figura 3. Óleos minerais para testes de índice de refração.

#### 4 Resultados e Discussões

Com o uso do refratômetro, mediram-se os índices de refração das amostras dos óleos minerais, e observou-se que ao comparar o resultado com o valor do quartzo fundido ( $IR = 1,4585$ ), nenhum apresentou o mesmo valor de índice de refração do sólido, entretanto, alguns possuíam valores próximos. Na Tabela 2 é apresentada os valores.

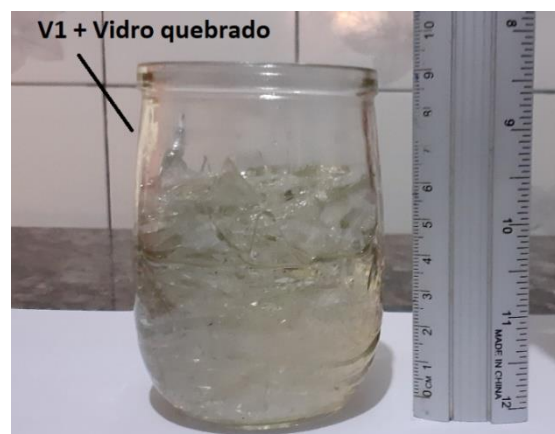
Tabela 2. Resultados dos índices de refração das amostras dos óleos minerais testados.

| Óleo mineral   | Temperatura (°C) | Índice de refração |
|----------------|------------------|--------------------|
| Vaselina 1     | 27,1             | 1,4595             |
| Vaselina 2     | 27,1             | 1,4554             |
| Garden Light 1 | 27,1             | 1,4494             |
| Garden Light 2 | 27               | 1,4489             |
| USP            | 27               | 1,4561             |

Foram realizadas duas tentativas de obter uma amostra de solo transparente misturando-se diferentes poro fluidos com o vidro peneirado: na primeira misturou-se o óleo mineral Vaselina 1 e na segunda misturou a Vaselina 2. A explicação para a escolha inicial desses materiais é que os IR dos dois óleos foram os mais próximos do quartzo fundido. O resultado é apresentado na Figura 4. Por sua vez, a Figura 5 ilustra uma amostra apenas com o vidro quebrado, sem o óleo mineral, com o objetivo de realizar comparação visual.



(a)



(b)

Figura 4. Amostras das misturas dos óleos minerais com vidro peneirado: (a) Vaselina 2 + Vidro quebrado e (b) Vaselina 1 + Vidro quebrado.

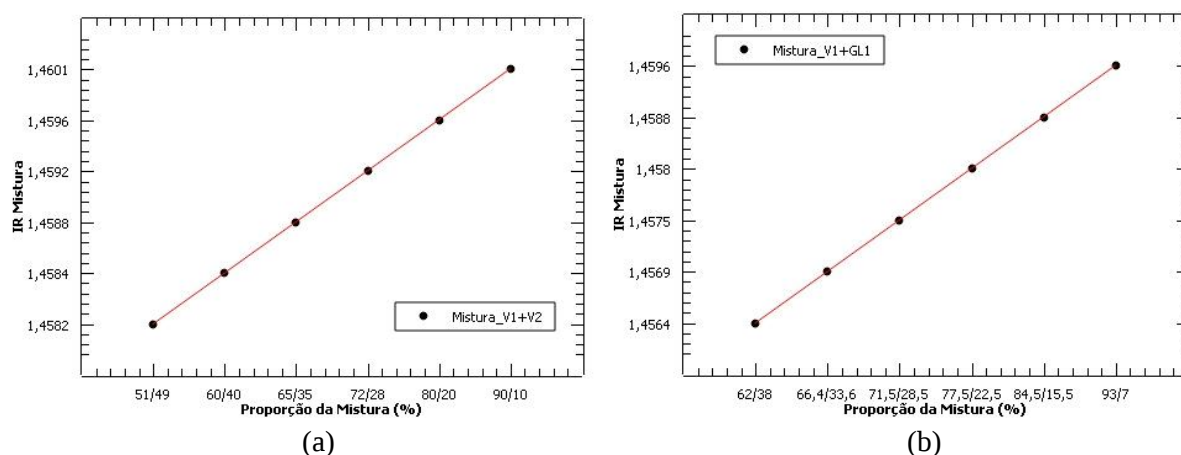


Figura 5. Amostra apenas com o vidro quebrado.

Verificou-se que as misturas não obtiveram transparência adequada. Entretanto, ao comparar visualmente a Figura 4a e a Figura 5 é possível observar que a mistura da Vaselina 2 com o vidro quebrado forneceu uma amostra um pouco mais transparente, pois consegue-se notar a imagem de quadrados pretos e detalhes brancos atrás da amostra.

Ao perceber essa divergência nos resultados dos valores dos índices de refração do poro fluido e do sólido, optou-se por fazer misturas dos óleos minerais através de proporção de cada um para obter uma amostra ideal de poro fluido, e assim, partir novamente para a tentativa da confecção do solo transparente. Os índices de refração dos óleos analisados superiores ao índice de refração do quartzo fundido, foram tomados como poro fluido base. Os demais óleos minerais analisados foram tomados como poro fluidos de compensação. Dessa forma, o poro fluido base que foi adotado neste trabalho foi a Vaselina 1. As misturas foram realizadas por tentativa e erro, ou seja, misturavam-se os óleos e media-se o índice de refração da mistura. O processo era repetido até atingir-se o valor desejado do índice de refração (Quartzo). Porém, quando não era obtido o valor referente ao do quartzo fundido, trocava-se o poro fluido de compensação.

A Figura 6 exibe os resultados em gráficos dos índices de refração das misturas em função das proporções dos volumes dos óleos minerais, onde fica evidente que é possível atingir o índice de refração do quartzo fundido através de ajustes nas proporções dos volumes dos mesmos. Ademais, vale ressaltar que para definir qual é a melhor mistura dos óleos para compor o solo transparente, faz-se necessário observar o comportamento da mistura sólido mais poro fluido, tais como: mudança na coloração, presença/ausência de bolhas de ar, dentre outros.



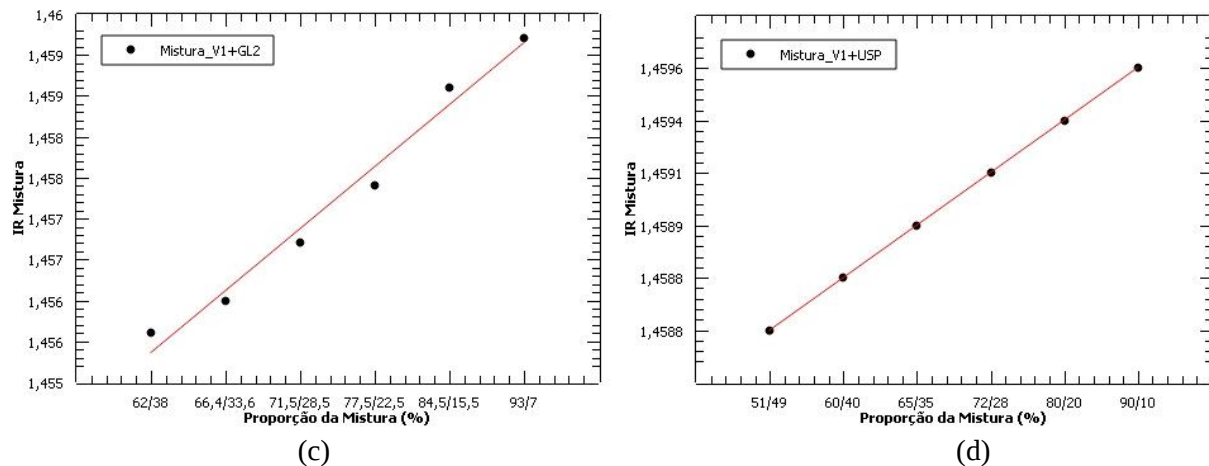


Figura 6. Variação do índice de refração da mistura dos óleos minerais em função da proporção do volume da mistura: (a) Mistura Vaselina 1 + Vaselina 2, (b) Mistura Vaselina 1 + Garden Light 1, (c) Mistura Vaselina 1 + Garden Light 2 e (d) Mistura Vaselina 1 + USP.

Após a mistura dos óleos minerais, esperou-se um tempo de 72 horas. Logo, foi observado que nenhuma das amostras apresentaram mudança na coloração, presença de bolhas de ar e separação dos óleos.

Em seguida, através dos resultados da Figura 6 foram feitas uma série de tentativas através da mistura das proporções óleos minerais juntamente com o vidro quebrado nos béqueres, com o objetivo de obter a amostra desejada de solo transparente. Na Figura 7 são apresentados alguns dos testes realizados utilizando o vidro como sólido, a Vaselina 1 como poro fluido base (maior proporção na mistura) e Vaselina 2 como poro fluido de compensação. Entretanto, nenhuma das amostras testadas apresentou resultados satisfatórios para serem aplicadas como solo transparente com o vidro empregado.

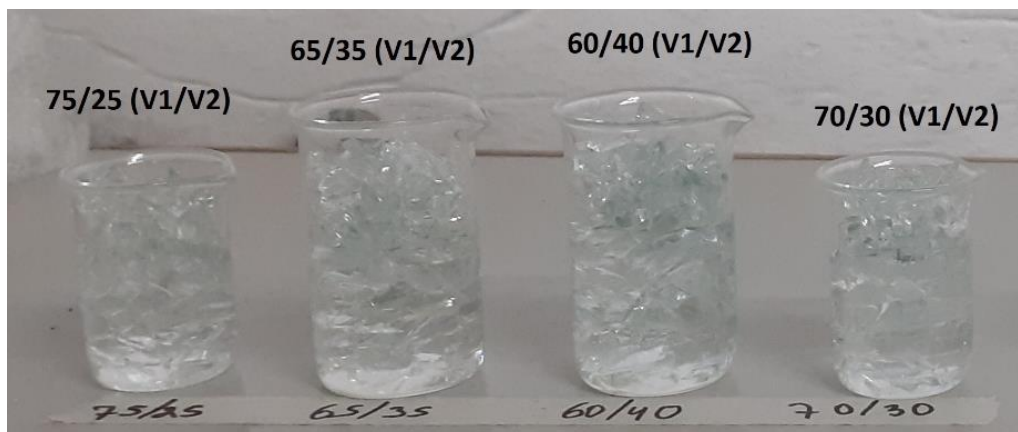


Figura 7. Tentativas de misturas para obtenção da amostra transparente.

Como foi utilizado o vidro quebrado como sólido na amostra, é possível observar que ele pode explicar o motivo de não ter obtido uma amostra adequada, uma vez que não foi possível medir o índice de refração dele e suas propriedades físicas eram desconhecidas. No entanto, era esperado que ele tivesse o valor próximo do quartzo fundido.

Além disso, foi observado ao longo dos testes realizados que a temperatura do ambiente influencia na medição dos valores dos índices de refração dos óleos minerais, e que, para obter valores constantes o ensaio deve ser realizado em um ambiente com temperatura controlada.

## 5 Considerações Finais

Com os testes que foram conduzidos com os materiais disponíveis fica evidente que é possível alcançar a amostra de solo transparente. Além disso, os resultados obtidos de imediato foram considerados satisfatórios,



haja vista que mostraram uma visão geral de quais são os principais desafios da pesquisa para obtenção do solo transparente, como por exemplo obter o índice de refração do vidro quebrado, bem como informações acerca das propriedades do mesmo; busca por propriedades físicas e químicas dos poro fluidos; comprar amostras de óleos minerais com os fornecedores cujas propriedades não mudam de um lote para o outro.

Outrossim, os novos poro fluidos Vaselina 1 e 2 investigados neste estudo têm grande potencial para a aplicabilidade em solos transparentes. Ressalta-se ainda que, a produção desse solo com materiais nacionais incentiva o desenvolvimento da técnica no Brasil, devido à redução de custo e à facilidade de acesso aos materiais.

Logo, outras fontes de materiais para aplicação em solos transparentes devem ser investigadas em conjunto com suas propriedades químicas e físicas, haja vista que são importantes para obtenção de resultados satisfatórios.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade de Brasília (UNB), a Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF, através de recursos financeiros disponíveis para custeio do desenvolvimento deste trabalho, e ao CNPq, pela bolsa concedida de Iniciação Científica. Ao professor pela orientação, que foi fundamental para desenvolvimento de toda a pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Black, J. (2015). Centrifuge Modelling With Transparent Soil and Laser Aided Imaging, *Geotechnical Testing Journal*, 38 (5): 631-644.
- Carvalho, T. G. B. (2015). *Propriedades dos solos transparentes e técnicas de correlação digital de imagens para aplicação em modelagem física geotécnica*. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. RJ. p. 219.
- Ezzein, F.M., Barthust, R. (2010). A Transparent Sand for Geotechnical Laboratory Modeling. *Geotechnical Testing Journal*, 34 (6): 590-601.
- Ezzein, F., M., Bathurst, R., J., (2011). A transparent sand for geotechnical laboratory modeling. *ASTM Geotechnical Testing Journal*. 34 (6), p. 590 - 601.
- Ezzein, F.M., Barthust, R. (2014). A new approach to evaluate soil-geosynthetic interaction using a novel pullout test apparatus and transparent granular soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 42 (3): 246-255.
- Guzman, I., L., Iskander, M., Suescun - Florez, E., Omidvar, M. (2013). A transparent aqueous - saturated sand surrogate for use in physical modeling. *Acta Geotechnica*. 9 (2), p. 187- 206. Doi: 10.1007/s11440-013-0247-2.
- Iskander, M., Sadek, S., Liu, J. (2002)b. Transparent Amorphous Silica to model Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 27 (3). p. 262 - 273.
- Jan Derksen, Martin Ziegler, Raul Fuentes (2021). Geogrid-soil interaction: A new conceptual model and testing apparatus, *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 49, Issue 5, 2021, Pages 1393-1406, ISSN 0266-1144, <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2021.05.011>.
- Liu, J., Iskander M.G., Sadek, S. (2003). Consolidation and Permeability of Transparent Amorphous Silica. *Geotechnical Testing Journal*, 26 (4): 390-401.
- Lopes, A. C. C. (2019). *Estudo de interação solo-geogrelha-estrutura de fundações rasas utilizando modelagem física com solos transparentes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Campos dos Goytacazes. RJ. p. 146.
- Mckelvey, D. Sivakumar, V., Bell, A., Graham, J. (2004). Modelling vibrated stone columns in soft clay. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 157 (3): 137-149.

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

- Peng, X., Zornberg, J.G. (2017). Evaluation of load transfer in geogrids for base stabilization using transparent soil. *Procedia Engineering* 189: 307 – 314.
- Peng, X., Zornberg, J.G. (2019). Evaluation of soil-geogrid interaction using transparent soil with laser illumination. *Geosynth. Int.*, 26 (2) (2019), pp. 206-221.
- Tipler, P. A, (1999). *Physics for engineers and Scientist: Electricity, Magnetism and Light*, 4<sup>o</sup> Edition, W, H Freeman and Company, New York, p. 1041-1042.