

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
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Variação de Velocidades Ultrassônicas em Solos Compactados

Fábio Krueger da Silva

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch

Docente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, fernandass@ifsc.edu.br

Larissa Agapito Zanela

Discente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, larissa.agapito.zanela@gmail.com

RESUMO: A técnica de ultrassom é indicada para diversos tipos de materiais de construção, sendo aplicado na caracterização, controle tecnológico, inspeção de materiais e elementos construtivos. Contudo, o emprego desta técnica em solos é incipiente, sendo a maioria das pesquisas desenvolvidas até o momento conduzidas em solos estabilizados. Portanto, o objetivo desta pesquisa será avaliar a resistência de solos compactados, em laboratório, através dos ensaios de compactação e CBR e, a partir das medições registradas pelo ensaio de ultrassom. Busca-se identificar a influência nos índices físicos, propriedades mecânicas e, principalmente identificar falhas no processo de compactação através da interpretação das variações de velocidades ultrassônicas, em condições particulares. A pesquisa foi realizada um solo residual de granito da cidade de Biguaçu/SC. Os ensaios foram feitos no Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais do Instituto Federal de Santa Catarina. Com análise dos resultados, pode-se aferir a frequência ideal a ser aplicado no ultrassom em solos, estimar velocidade de propagação de ondas em solos submetidos a diferentes condições de compactação. Assim puderam-se delimitar faixas de velocidades de ondas ultrassônicas relacionando-as com condições ideais de compactação e com condições inadequadas ou falhas que podem vir a contribuir para a instabilidade do maciço compactado. Espera-se que os resultados obtidos nas avaliações de ondas sísmicas em solos possam ser futuramente estendidos para os casos de grandes maciços de solo compactado, por exemplo, barragens de terra. De maneira que, através de avaliação rotineira, simples, rápidas e eficazes possam ser plotados problemas ou falhas estruturais de forma que catástrofes possam ser evitadas.

PALAVRAS-CHAVE: Ultrassom; solo compactado; velocidade de onda.

1 Introdução

A compactação dos solos proporciona melhorias nas propriedades mecânicas do solo que possibilitam seu emprego em obras de pavimentação de estradas, obras de contenção, aterros sanitários, barragens de terra e outros fins. Recentemente, após acidentes catastróficos envolvendo barragens de terra a avaliação de sua estabilidade e previsão de possíveis anomalias estruturais têm se mostrado fundamental para preservação tanto na integridade da obra, como também dos efeitos de eventuais acidentes e seus impactos na fauna, flora e, principalmente, em perdas de vidas humanas.

Dessa forma, esta pesquisa procura aplicar os conceitos sísmicos de propagação de ondas ultrassônicas nos solos como fonte de detecção de eventuais planos e zonas de fraqueza em maciços terrosos compactados. Através de modelos laboratoriais em escala reduzida pretende-se desenvolver uma solução técnica que remeta benefícios a sociedade onde os resultados obtidos possam ser aplicados em maciços de solos compactados.

A investigação sísmica em solos utiliza a teoria da propagação de ondas para avaliação das propriedades dos materiais. Em solos, a velocidade de ondas é influenciada pela densidade, índice de vazios, umidade, temperatura e outros. Os ensaios sísmicos ou geofísicos permitem a classificação e definição de estratos de solos, ocorrência de blocos de rochas, nível de água e, bem como, a identificação de falhas e



planos de fraqueza. Este projeto busca identificar indícios de erros de compactação e, como isto pode comprometer as propriedades geomecânicas almeçadas em solos compactados.

2 Referencial Teórico

2.1 Compactação de solo

A compactação de um solo pode ser definida como um processo que visa um aumento da densidade do solo através da redução do índice de vazios. Este processo pode ser manual ou mecânico e objetiva uma melhoria de sua resistência ao cisalhamento, redução da compressibilidade e permeabilidade. No processo compactação ocorre a expulsão de ar e, normalmente, para que ocorra a compactação, a natureza das cargas é dinâmica e o resultado é imediato (DNIT, 2016). No Brasil, o ensaio de compactação de solos é feito com base na NBR 7182. O ensaio de compactação de solos, idealizado pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933, apresentou nas suas considerações quatro as variáveis que influenciam no processo de compactação, entre elas: teor de umidade do solo, peso específico seco, energia de compactação e tipo de solo. O peso específico seco de um solo é função do teor de umidade e da energia de compactação. As partículas de solo entrosam mais facilmente através da lubrificação que a água proporciona, ocasionando uma maior densidade. A energia de compactação pode ser definida como o número de passadas de um determinado equipamento (rolo) em campo, ou do número de camadas e golpes (soquete) em laboratório, que proporciona uma densidade maior ou menor. A energia de compactação aplicada pode ser do tipo normal, intermediária ou modificada. Esta energia é função do número de golpes e tipo de soquete usado. O objetivo do ensaio de compactação de solos é a determinação da umidade ótima para uma respectiva densidade aparente seca máxima. A verificação das resistências obtidas para diferentes energias de compactação e, diferentes tipos e misturas de solos são quantificados através do Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou CBR, como popularmente conhecido no Brasil. O CBR é uma medida de resistência de um solo ao esforço cortante produzido pela penetração de um pistão padronizado no solo compactado na umidade ótima e peso específico seco máximo. Este índice numérico, em percentual, expressa a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada (0,1” e 0,2”). O ensaio de CBR também avalia propriedades expansivas do solo compactado informação importante principalmente quando aplicado para dimensionamento de pavimentos (DNIT, 2016).

2.2 Ensaio de Ultrassom

Os ensaios de ultrassom são classificados como um teste não destrutivo (NBR 16616). Os testes não destrutivos foram propostos inicialmente com o objetivo de detectar defeitos em metais e suas ligas sem alterar suas capacidades de uso. Atualmente, esses métodos já se expandiram para a caracterização de diversos outros materiais (polímeros, compósitos, madeiras, matrizes cimentícias, rochas, minerais e solos). Contudo, este método é normalmente aplicado em concretos e argamassas para verificação de suas propriedades. Como principais vantagens dos ensaios não destrutivos em relação aos destrutivos, tem-se a redução do tempo e trabalho à realização dos procedimentos e obtenção dos resultados, ausência de danos superficiais ou invasivos aos elementos construtivos ou corpos de prova, possibilidade de maior número de ensaios, investimento relativamente baixo, etc. Neste contexto está inserida a técnica de ultrassom, com a qual é possível obter a caracterização mecânica do material e verificações de possíveis patologias (Sarro, 1993). A propagação da onda ultrassônica no sólido pode revelar características dos materiais como homogeneidade, descontinuidades, trincas, defeitos e fissuras internas (Bauer, 2000). Quanto menos homogêneo for o material maior será o tempo que a onda levará para percorrer sua estrutura interna e, conseqüentemente, menor será a velocidade de propagação da onda ultrassônica do material. A técnica basicamente é executada por meio de dois sensores, um emissor e o outro um receptor de ondas. Através da avaliação do tempo dispendido, entre o emissor e o receptor, para uma dada onda percorrer um determinado material de dimensões definidas é interpretado, por exemplo, as condições de densidade deste material.



2.3 Pesquisas com estudos das ondas em solos

No que se referem ao conhecimento acumulado nas pesquisas com o ensaio ultrassom aplicado em solos poucos estudos têm sido realizados até o presente. As pesquisas realizadas com ultrassom buscam caracterizar o processo de estabilização de misturas de solo-cimento (Alcântara, M. A., Nunes, S., & Rio, J. F., 2014), avaliação estrutural de painéis de paredes com solo compactado (Sarro, W.S. et al., 2015), caracterização de misturas de areias com resíduos (Itoman E. H. et al., 2017) e determinação de constantes elásticas de solos compactados (Sarro, 1993). Atualmente, a aplicação de técnicas de emissão de ondas para investigação de solos é feita com uso do GPR (*Ground Penetration Radar*) ou GeoRadar. Essa tecnologia de transmissão e captação de ondas eletromagnéticas é a mesma utilizada na medicina forense e arqueologia. Este método consiste na emissão de ondas eletromagnéticas (espectros variando entre 10 e 2.500mhz) e recepção dos sinais refletidos nas estruturas ou interfaces da subsuperfície. Usam-se conceitos de propagação de ondas num meio onde uma parcela da onda é absorvida e outra para te refletida (refração e reflexão). Os sinais são emitidos e recebidos através de antenas dispostas na superfície do terreno. As medidas de tempo de percurso das ondas eletromagnéticas são efetuadas ao longo de uma direção, e quando justapostas lado a lado, fornecem uma imagem de alta resolução do perfil estudado. Dentre as aplicações do GPR, destacam-se: localização de vazios naturais, zonas que ocorrem colapso, tubulações enterradas, fraturas, falhas, estratificações, objetos podem ser encontrados no subsolo em tempo real (Lopes, O.A., 2009).

3 Caracterização geológica e pedológica do solo da pesquisa

A pesquisa foi realizada em solos residuais de granito originados da região rural do município de Biguaçu, em Santa Catarina. As coordenadas geográficas do ponto de estudo são 27°28'09.89" S e 48°43'20.58" W. O solo utilizado na atual pesquisa foi coletado no mesmo ponto onde Broering & Odozynski (2018) já realizaram uma extensa campanha geotécnica de caracterização física e mecânica.

A geologia da região pesquisada faz parte do Complexo Canguçu, classificando as rochas componentes do embasamento antigo do Estado de Santa Catarina, ao sul do Grupo Brusque. A partir dos estudos pedológicos desenvolvidos por Shimizu, Vieira e Moser (2003), advindo de um projeto de gerenciamento costeiro desenvolvido pelo IBGE, foi possível perceber que a região de estudo se encontrava em uma área com eminência de solo Podzólico Vermelho-Amarelo Álico. De acordo com os mesmos autores, esse tipo de solo “compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte A ou E seguido de horizonte B textural não plíntico, com considerável iluviação de argila evidenciado pela expressiva relação textural entre os horizontes A e B”. As propriedades geotécnicas do material podem ser visto na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização geotécnica do solo analisado.

Local	Rocha de origem	% Areia	% Argila	Classificação	IP	γ_s (g/cm ³)	$h_{ótima}$ (%)	γ_d (g/cm ³)
Biguaçu (SC)	Granito	47	15	Areia siltosa	7%	2.68	23,5	1.594

Fonte: Broering & Odozynski (2018)

4 Método da pesquisa

A metodologia tem caráter exploratório e será fundamentada na condução dos ensaios laboratoriais e, respectiva, interpretação dos resultados obtidos. Inicialmente, se procedeu a coleta do solo num talude localizado na cidade de Biguaçu, já citado anteriormente. Após transporte, acomodação e secagem prévia da amostra foram conduzidos ensaios de compactação, de acordo com NBR 6457, na energia normal com intuito de verificar se os valores obtidos na curva de compactação são similares aos da pesquisa de Broering & Odozynski (2018).

Após confirmação da umidade ótima e peso específico aparente seco foram moldados novos corpos de prova compactados para ensaios preliminares de ultrassom com base na NBR 7182. Estes ensaios experimentais buscavam verificar a influência do molde cilíndrico do ensaio proctor sob as leituras de velocidades ultrassônicas, bem como, determinar a faixa ideal de frequência a ser adotada. Esta calibração da frequência é importante para garantir a qualidade das leituras de velocidades ultrassônicas, nas diversas situações a serem simuladas neste trabalho.

Posteriormente, iniciou-se a moldagem de corpos de prova em diferentes condições de compactação. A compactação foi feita no cilindro grande e com reuso de material. Foram moldados dois corpos de prova compactados nas seguintes situações: sem erros (energia normal) e com simulação de erros induzidos (teor de umidade ótima 2% acima e 2% abaixo, falha na compactação da 3ª camada). No total foram moldados 8 corpos de prova, sendo 4 para avaliação do CBR e 4 de ensaios de ultrassom. Os ensaios de índice suporte califórnia seguiram as recomendações da NBR 9895, ficando imersos por quatro dias com leituras de expansão a cada 24 horas. Após esse período, promoveu-se a fase de ruptura do corpo de prova, com penetração do pistão na prensa CBR. Detalhes da realização dos ensaios podem ser vistos nas figuras 1.

Figura 1. Detalhes do ensaio CBR.



Fonte: Autores

O equipamento de ultrassom usado nesta pesquisa é o *Pundit Lab* da marca Proceq. Os sensores do ultrassom tem 5 cm de diâmetro, com tensão de excitação (em V) de 125, 250, 350, 500 e frequências de transmissão de recepção (em kHz) de 24, 37, 54, 82, 150, 200, 220, 250 e 500. A imagem do equipamento pode ser visto na figura 2.

Os valores de velocidades ultrassônicas foram determinados com a média aritmética de três leituras conduzidas em cada corpo de prova remanecente, nas diferentes condições de moldagem. Na lubrificação das sondas do ultrassom foi aplicado vaselina em gel. Foi também produzido um gabarito de maneira que a posição das sondas do ultrassom sempre ficasse centralizada no centro do cilindro e alinhada entre si (Figura 2). Cabe também citar que anteriormente a preparação dos 8 corpos de prova desta pesquisa. Foi necessário moldar os corpos de prova para análise da frequência ideal, além de atentar para aspectos de um bom acabamento das faces cilíndricas e ajustes na aplicação da vaselina e sonda de modo a diminuir a desagregação de solo (devido a vaselina em gel) garantindo superfícies planas para a condução do ultrassom. Também se analisou os resultados sendo feito com o solo compactado no cilindro e extraído do cilindro. Até a execução do ensaio de ultrassom todos os corpos de prova foram envolvidos em plástico tipo filme e em condições de temperatura e umidade controladas. Espera-se que as diferenças entre os materiais produzidos

na melhor qualidade e os que apresentam falhas e danos induzidos reflitam em variações nas propriedades físicas e mecânicas obtidas nos materiais e, interferiram na propagação das ondas. Ao final serão analisadas as divergências obtidas e conclusões. Detalhes da realização dos ensaios podem ser vistos na figura 2.

Figura 2. Detalhe do equipamento e gabarito para medições do ensaio de ultrassom em solos.

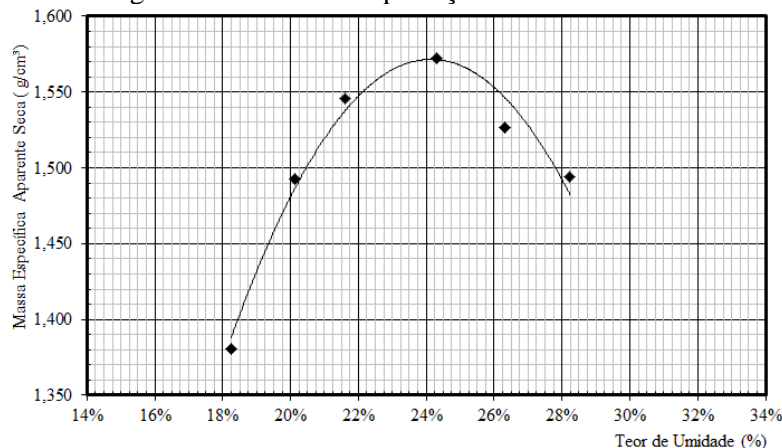


Fonte: Autores

5 Resultados

A fim de verificação para referência dos ensaios futuros foi realizada um curva de compactação para confirmação dos valores obtidos por Broering & Odozynski (2018). A nova curva de compactação obteve valores de massa específica aparente seca e umidade ótima, respectivamente, γ_d igual a $1,573\text{g/cm}^3$ e h_{ot} igual a 24,3%. A curva de compactação pode ser visualizada na figura 3.

Figura 3. Curva de compactação do solo do local.

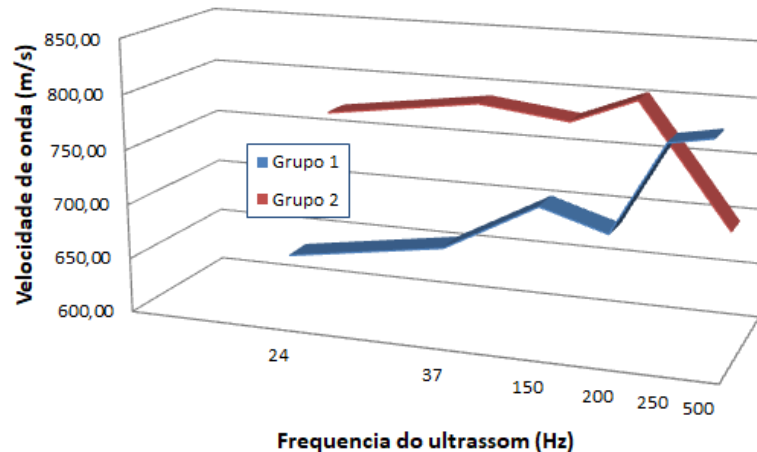


Fonte: Autores

Durante as primeiras leitura nos ensaios de ultrassom foi observado que ocorriam variações das velocidades de onda em diferentes corpos de prova e com diferentes frequências pré-definidas no equipamento. Assim, antes de realizar as medidas finais utilizadas neste trabalho foi necessário definir uma frequência de onda padrão com intuito de calibrar o procedimento adotado e ter maiores confiabilidades nos registros de velocidade de ondas. Nota-se que a altura do corpo de prova também é relevante na entrada de dados no equipamento porque a teoria leva em consideração o comprimento do material atravessado pela

propagação de onda. Assim, foram compactados dois grupos com um total de 8 corpos de provas para verificação das velocidades de ondas em função de diferentes frequências pré-definidas (no caso 24, 37, 150, 200, 250 e 500Hz). Não houve variação expressiva da velocidade de onda feita nas amostras dentro do cilindro e posteriormente, extraídas. Na figura 4, observa-se que a frequência onde as medições de velocidade mais se aproximam nos dois grupos de corpos de prova era em torno de 200 a 250Hz. Adotou-se nesta pesquisa, o valor de 200Hz.

Figura 4. Gráfico de calibração da frequência adotada na pesquisa.



Fonte: Autores

Na figura 5 podem-se observar os valores médios de velocidade de onda registrados para as distintas condições de compactação. Nota-se que os maiores valores são obtidos para valores de umidade acima da ótima e os menores valores para solo com deficiente na compactação. Percebe-se que os valores de velocidade em solos com umidade de 2% acima foram ligeiramente maiores que os obtidos na umidade ótima.

Enquanto para os corpos de prova moldados abaixo da umidade ótima e com falhas induzida nas camadas (sem golpes) as velocidades diminuíram mais acentuadamente. Acredita-se que a acima da umidade ótima a água pode, até certo ponto, manter ou contribuir com um leve aumento da velocidade de onda. Ou seja, a lubrificação das partículas contribui para a propagação das ondas, contudo, com a água em excesso, nos vazios do solo, o valor de velocidade deve diminuir. Contudo, este aspecto deve ser estudado em pesquisas futuras. Nos demais corpos de prova, com umidades abaixo da ótima, os vazios preenchidos com ar atuaram como resistência a passagem das ondas ultrassônicas, provocando queda nos valores médios registrados.

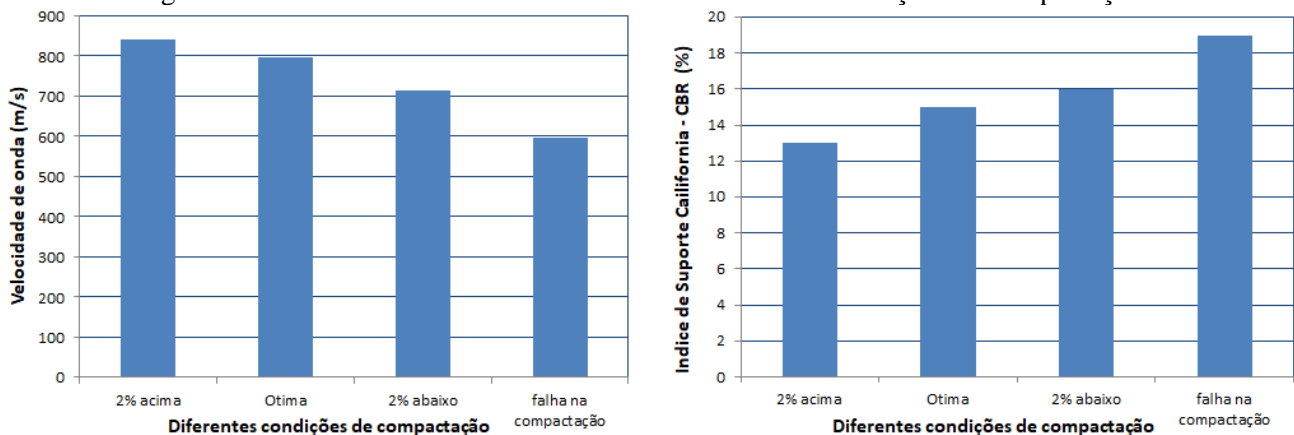
No que se trata de resistência obtida pelos ensaios a pesquisa reforça a necessidade de ensaios geofísicos que analisem camadas mais profundas de solos compactados. O CBR obtido na umidade ótima foi de 15% e, como esperado, o valor do CBR na umidade acima da ótima foi de 13% mostrando que no ramo úmido ocorre queda da resistência devido ao excesso de água entre as partículas. Enquanto no ramo seco, na umidade abaixo da ótima, é usual e já relatado em outras pesquisas, que o valor do CBR pode ser igual ou pouco superior aquele obtido na umidade ótima. Contudo, o principal aspecto relevado na pesquisa e que instiga o aprofundamento dos estudos é o fato que os corpos de prova colocados na umidade ótima, que tiveram durante o processo de compactação uma falha na terceira camada, não recebendo energia de compactação foram as amostras que indicaram os maiores valores de CBR, em torno de 19%. Tal resultado pode ser explicado pelo fato do CBR ser um ensaio que analisa a resistência à cravação do pistão em pouca profundidade (5,08mm) e a resistência nas primeiras camadas dessa forma, erros no processo de compactação não são relevados por este ensaio. Conforme a teoria de profundidade do bulbo de tensões originado da cravação do pistão do CBR, a cota deve ser em torno de 7,5cm (1,5 x diâmetro do pistão), conseqüentemente, a parcela de propagação tensões que atinge a terceira camada não provoca variações que possibilitem a identificação de falhas na compactação através do ensaio CBR. Diferentemente, da análise



feita pelo ensaio de ultrassom que mostra claramente uma queda no valor da velocidade de onda provocada pelo excesso de vazios oriundo da falha na compactação e variações de umidade.

No que se trata da expansão obtida no ensaio CBR, os valores obtidos na umidade ótima e abaixo da ótima foram de 1%. Nos corpos de prova de com falha na compactação da terceira camada e com umidade acima da ótima os resultados da expansão foram de 0,4%. O que até poderia indicar um material de melhor qualidade para pavimentos, por exemplo. A explicação é que nestes corpos do prova o fato de haver excesso de água e maiores vazios decorrentes da falta de compactação, durante o processo de expansão decorrente da imersão em água, a expansão das partículas acabam por comprimir estes vazios internos da massa do solo, sem refletir na deformação vertical da amostra.

Figura 5. Resultados da Velocidade de onda e CBR versus condições de compactação.



Fonte: Autores

6 Conclusões

Com já tratado anteriormente, os estudos de propagação de ondas ultrassônicas em solos são escassos assim esta pesquisa procurou contribuir para extensão desta área de conhecimento. Por ser tratar de uma pesquisa com recursos e tempo limitados não puderão ser investigados outros solos em diferentes estados de compactações. As principais observações feitas após interpretação dos resultados são:

- para evitar variações excessivas e erros nas medições de velocidade de onda é necessária uma calibração prévia da frequência utilizada no ensaio de ultrassom;
- verificou-se um pequeno incremento de 5% na velocidade de onda em relação à umidade ótima;
- verificaram-se quedas nas velocidades de onda de 11% e 25%, respectivamente, para condições abaixo da ótima e com falha em camadas sem compactação.
- os valores de CBR foram coerentes com as diferentes condições de compactação;
- o ensaio de CBR não revela falhas no processo de compactação porque é um ensaio que analisa as camadas superficiais do material;
- a etapa de expansão não revela falhas no processo de compactação, podendo inclusive mascarar os resultados;
- o ensaio de ultrassom tem grande potencial para verificação de qualidade de solos compactados.

Dessa forma, pode-se inferir que as quedas nas velocidades de onda são atribuídas ao ar presente nos vazios do solo que acabam agindo como uma espécie de barreira que interfere na qualidade e na velocidade de propagação de ultrassônica. Com teores de umidade acima da ótima houve um pequeno acréscimo que pode estar associado a uma lubrificação mais homogênea das partículas que contribuem para a passagem de ondas, contudo, em umidades elevadas não poderão ser registrados valores de velocidade de ondas na frequência utilizada.

Trata-se de uma pesquisa em escala reduzida, porém, espera-se que com novas pesquisas neste campo os resultados preliminares possam ser estendidos para grandes maciços de solos compactados, de maneira, que seja em monitoramentos de estabilidades, ou identificação de anomalias e falhas estruturais, sem

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
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



necessidade de uso de outros métodos destrutivos, o ensaio de ultrassom possa ser mais utilizado na engenharia geotécnica.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelos recursos financeiros repassados através do edital de pesquisa universal e ao Laboratório de Solos e Tecnologias dos Materiais/IFSC pela disponibilidade de utilização dos equipamentos e materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986b). NBR 7182. *Solo – Ensaio de compactação - Apresentação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 16616. *Ensaio Não destrutivo – Ensaio de Ultrassom convencional – Qualificação de procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 6457. *Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 9895. *Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Alcântara, M. A., Nunes, S.B., & Rio, J. F., (2014). Estudo do solo-cimento-autoadensável produzido com solos da região do Porto/PT. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 9 - nº 1*. Portugal.
- Broering, W.B, Odozynski, P.S. (2018). *Caracterização Geotécnica e Dimensionamento de Pavimentos Semirrígidos em Solos Residuais de Biguaçu/SC*. Instituto Federal de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Florianópolis.
- Bauer, L. A. F. *Materiais de Construção* [Livro]. - Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- Itoman, E. H., Ferreira, G.C.S., Cardoso, S.M., Teixeira, I. (2017). Caracterização de misturas de solo com areia descartada de fundição utilizando o ultrassom. *XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*. Recife.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). (2006). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação, 3. ed. – Rio de Janeiro, Brasil.
- Lopes, O. A. (2009). *Uso do GPR (Ground Penetrating Radar) em Trechos de Pavimentos da Cidade Universitária da UFRJ/COPPE*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro.
- Sarro, W.S. (2017). *Constantes elásticas de solo compactado a partir do ensaio de ultrassom*. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado. São Paulo.
- Sarro, W. S.; Ferreira, G. C. S.; Galetto, A. (2015). Técnica de ultrassom aplicada na inspeção de edificações construídas em solo compactado. *57º Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon*. Bonito.
- Sarro, W. S.; Ferreira, G. C. S.; Cardoso, S. M.; Assis, G. M. (2017). Influência dos transdutores no ensaio de ultrassom aplicado a solo compactado. *14ª Conferência sobre Tecnologias de Equipamentos – COTEQ*, Barra da Tijuca.
- Shimizu, S. H., Vieira, P., Moser, J.M. (2003). Projeto Gerenciamento Costeiro - Gerco (3ª Fase): Solos. Florianópolis: IBGE. Brasil.
- Torres, V. C. A. (2017). Ensaio de cone de penetração dinâmica para controle de compactação de vias urbanas da cidade de Curitiba/PR. Dissertação de Mestrado/UTFPR. Curitiba.