

AVALIAÇÃO MAIS CRÍTICA SOBRE OS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO E CAPACIDADE DE SUPORTE DE UM SOLO RESIDUAL DE ARENITO NO RS

Tiago Bairro de Oliveira

Engenheiro Civil pela PUCRS

tiagobairros86@gmail.com

Cleber de Freitas Floriano

Professor do curso de Engenharia Civil na PUCRS

cleber@souzafloriano.com

Resumo. *No presente trabalho foi realizado um estudo sobre o efeito mecânico que a variação do teor de umidade pode provocar em diferentes energias de compactação com base na resposta do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC). Foi observado que a relação entre as curvas de compactação nas energias normal, intermediária e modificada, bem como a influência do procedimento de imersão alteram substancialmente os valores de capacidade de suporte alcançados. Na campanha de ensaios para este estudo, a metade dos CPs ensaiados foram submetidos ao procedimento de imersão, como preconizado pela norma NBR 9895/2016. Na outra metade, os ensaios de ISC foram realizados imediatamente após procedimento de compactação. Nos ensaios de ISC, portanto, foram notórias as quedas de capacidade de suporte do solo estudado nos CPs que foram submetidos a inundação normativa. Observou-se também que quanto maior for a energia de compactação, menor a defasagem de umidade que corresponde a máxima densificação e o valor de máximo ISC. Neste contexto, ainda, se definiu a potencialidade do presente solo quanto ao seu uso como material de construção de aterro.*

Palavras-chave: *Compactação, Capacidade de Suporte, Solo residual de arenito.*

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, em qualquer empreendimento, o solo tem uma grande importância, pois é nele que todos os carregamentos serão depositados. Em diversos casos, o que se encontra no local são solos incapazes de suportar o estado de tensões que serão submetidos durante ou após a execução da obra. Ainda, é necessário que os solos utilizados como aterro tenham também condições mecânicas adequadas no que tange o seu uso como material de jazida. Desta forma, a compactação, seja de solos que compõem massas de substituição ou de solos que formam aterros, necessita do entendimento mais amplo possível na operação e durante o uso como material de construção.

Pinto (2006) destaca que um solo quando transportado e depositado para construção de um aterro, fica num estado relativamente fofo e heterogêneo e, portanto, além de pouco resistente e muito deformável, apresenta comportamento mecânico diferente de local para local. A compactação tem em vista esses dois aspectos: aumentar o contato entre os grãos e naturalmente usufruir de um material (aterro) mais homogêneo.

Com a compactação de um solo se busca a melhoria de uma série de propriedades, como o aumento da densidade, que resulta em

um ganho de rigidez e resistência do solo, redução de futuros recalques e da permeabilidade pela diminuição do índice de vazios e maior interação entre os grãos. Porém, para obras que utilizam o solo como matéria prima, como barragens, rodovias e obras de contenção, além dessas características citadas, a estabilidade química e mecânica são de suma importância. Vargas (1977) define estabilidade como sendo a existência de uma resistência que embora possa não ser a mais alta que o solo oferece, esta se mantém permanente, independente das estações do ano e das condições climáticas.

Considerando esse conceito, percebe-se que a água tem papel fundamental no desempenho do solo. Pois, na necessidade de densificação da massa de solo, quanto mais baixo for o teor de umidade, o solo apresentará maior atrito entre os grãos, necessitando de uma elevada energia para ser compactado. Por outro lado, a medida que se acrescenta água à massa de solo a ser densificada, ocorre a lubrificação dos grãos e, conseqüentemente uma menor energia deverá ser dispendida para a compactação efetiva, ou seja, existirá para uma determinada energia, uma umidade em que aquele específico conjunto de partículas (solo) apresenta maior densificação.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou fazer uma análise a respeito da relação entre umidade e energia de compactação, apresentando seus efeitos na compactação e no Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *Califórnia Bearing Ratio (CBR)* em um solo de jazida de ambiente residual (horizonte C) da formação Botucatu, largamente utilizado como solo de aterro nos municípios que afloram esta geologia no estado do Rio Grande do Sul, como Nova Santa Rita, Portão, Estância Velha, etc.

O presente estudo tem foco específico nas variações que surgem nas curvas de compactação e ISC, com e sem o processo de

imersão durante as variações no teor de umidade. As características mecânicas deste solo, como granulometria, limites de liquidez e plasticidade, bem como resistência ao Cisalhamento, foram estudadas anteriormente por Boher *et al.* (2017), Antunes (2017), Bertaso (2017), Pfeifer (2017) Quadros (2017), Quadros & Floriano (2018) e Floriano *et al.* (2018).

2. METODOLOGIA

2.1 Coleta de amostra deformada da jazida

Para esta série de ensaios, foram coletadas amostras deformadas do horizonte C da jazida localizada junto ao km 8 da Rodovia RS-122, cujo material foi objeto de estudos anteriores e, por ser mais abundante, é comumente utilizado como material de aterro em obras nas proximidades.

Seguindo as recomendações da norma NBR 9604 (2016) para coleta de amostras deformadas, foi retirada a camada superficial de solo para evitar materiais orgânicos presentes, e em seguida o material foi coletado com ferramentas manuais para armazenamento em sacos plásticos, de modo a conservar a umidade natural, e em seguida em sacos de ninhagem, para serem transportados. Após a chegada no laboratório e acondicionamento do material, foi extraído uma porção de solo para determinação do teor de umidade. A figura 5 apresenta o local citado, do qual foi retirado o material, do horizonte C, para a execução dos ensaios. No local de coleta foi possível observar também que o horizonte B já havia sido removido ou por erosão, ou por extração no beneficiamento da jazida.

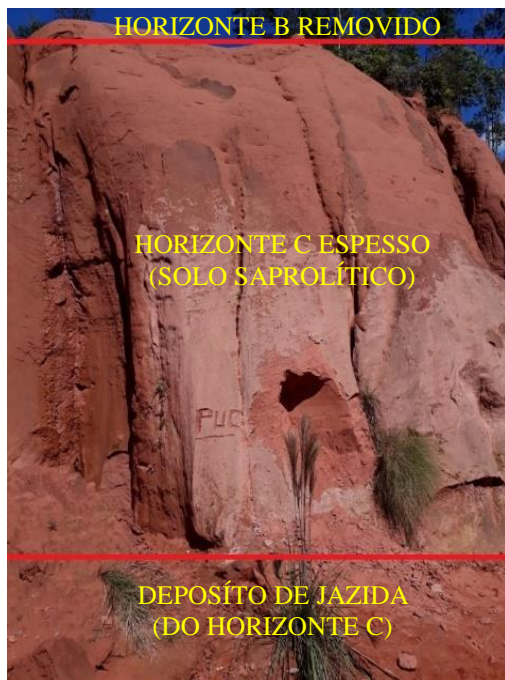


Figura 1. Local da Coleta de amostras deformadas (S: 29°37'16", O: 51°19'14")

2.2 Ensaio de Compactação e ISC sem imersão

Para este primeiro conjunto de ensaios, foram moldados 15 corpos de prova, os quais não passaram pelo processo de imersão antes do ensaio de ISC.

Para tanto, foram observadas as especificações das normas NBR 6457 (2016), que determina os procedimentos de preparação das amostras de solo para os ensaios de compactação e o método para determinação do teor de umidade da NBR 7182 (2016), que padroniza as características para o ensaio de compactação, e, da NBR 9895 (2016), que determina o método do ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

Pelo fato de o solo no estado natural, quando foi coletado, estar com teor de umidade de 23%, e a umidade ótima estimada, estar em torno de 14%, foi escolhido o método de compactação sem reuso de material com secagem completa, em estufa, da umidade do solo, de forma a se ter um melhor controle das

umidades aplicadas durante os ensaios. Posteriormente foi tomado 25 kg de solo seco e separado em 5 partes iguais para a realização da compactação de 5 corpos de prova em uma energia específica.

Foram moldados 5 corpos de prova para cada nível de energia de Proctor, normal, intermediária e modificada, com o objetivo de se obter 5 pontos para a curva de compactação em cada energia. Utilizando o cilindro grande, soquete grande, 5 camadas para todas as energias e 12, 26 e 55 golpes, conforme a energia de compactação como preconiza a norma NBR 7182 (2016)..

A faixa de umidade utilizada foi de 8 a 20%, supondo que a umidade ótima estaria entre 13 e 15%. Durante o processo de compactação, logo após a compactação da segunda camada, conforme NBR 6457 (2016), foram retiradas amostras de solo para a determinação do teor de umidade.

Foram coletadas 3 amostras para cada corpo de prova, secadas na estufa com temperatura em torno de 100° C por 24h, a fim de se calcular o teor de umidade pela média de 3 valores, determinada pela NBR 6457 (2016), totalizando 15 amostras para cada nível de energia de compactação, e 45 amostras para esta primeira parte de ensaios.

Após a compactação de cada corpo de prova, o conjunto solo mais cilindro foi pesado para a obtenção, por subtração, do peso úmido do solo compactado e, conseqüentemente, suas massas específicas úmidas e secas.

Dos moldes foram retirados os discos espaçadores, invertidos para então serem submetidos ao ensaio do ISC. Seguindo as recomendações da NBR 9895 (2016), foi utilizado prensa que aplica uma carga de aproximadamente 45 N, através de um pistão com velocidade de penetração constante de 1,27 mm/min e leitura do extensômetro do anel dinamométrico, que mede a penetração do pistão no solo. Cada leitura no

extensômetro é função de uma penetração do pistão no solo, que varia de 0,63mm até 12,70mm, e de um tempo especificado para o ensaio, que varia de 0,5 min até 10 min, fazendo-se leituras a cada 0,5 min nos tempos 0,5 a 4,0 min e a cada 2 min nos tempos entre 4,0 e 10 min.

Após a finalização de todos os ensaios, foram calculados, os teores de umidade e as massas específicas secas para a determinação das curvas de compactação, as pressões e os Índices de Suporte Califórnia para a elaboração do gráfico e, conseqüente, comparação entre os dados da curva de compactação e os do gráfico do ISC.

2.3 Ensaio de compactação com imersão

Para este grupo de corpos de prova, foram seguidos exatamente os mesmos passos dos ensaios de compactação e ISC descritos no item anterior. O mesmo número de corpos de prova foram moldados, as mesmas energias utilizadas, as mesmas faixas de umidades, os mesmos métodos de execução e preparação do material.

Porém, esses corpos de prova passaram pelo processo de imersão antes de serem submetidos ao ensaio de ISC.

Embora o processo de imersão seja padronizado pela NBR 9895(2016), como o objetivo foi de comparar diretamente resultados mecânicos na densificação e ISC, nesta ocasião não foi medida a expansão durante a imersão.

Nesta etapa, após as moldagens para caracterização da curva de compactação, o disco espaçador de cada corpo de prova foi retirado, seus moldes invertidos e fixados nos respectivos pratos de base perfurados. Em seguida, foi colocado o prato perfurado e a sobrecarga de massa de aproximadamente 4,5 kg e em seguida foram imersos os corpos de prova no tanque. Terminado o período de embebição, os corpos de prova foram

retirados do tanque deixados por 15 minutos escoando, para drenar o excesso de água existente, estando após esse período preparados para o ensaio de penetração.

3. RESULTADOS

Os ensaios foram realizados no período de 13/09/2018 a 30/10/2018 e durante esse período, 6 corpos de prova adicionais, além dos 30 iniciais, foram necessários para a complementação dos resultados. Foram selecionados então os 30 dados mais significativos para a melhor apresentação nesta etapa.

3.1 Ensaio de compactação

Primeiramente foram moldados os 15 corpos de prova que foram submetidos ao Ensaio ISC sem imersão, sendo separados em grupos de 5 de acordo com a energia aplicada. Em seguida foram moldados os corpos de prova que foram imersos previamente ao Ensaio de ISC.

Na figura 2 é possível observar a etapa inicial desse processo, no qual o solo está sendo umidificado e homogeneizado para posterior compactação, a separação das cápsulas para determinação do teor de umidade e a utilização do soquete grande e cilindro grande para a moldagem dos corpos de prova.

Após o tempo de secagem das amostras para a determinação do teor de umidade de cada corpo de prova, foram então coletados os dados necessários para o cálculo da massa específica aparente seca nos 3 níveis de energia e conseqüentemente a elaboração da curva de compactação, que relaciona a massa específica aparente seca com o teor de umidade no momento da compactação. Para a determinação dos pontos da curva de compactação e elaboração dos gráficos foram

selecionados os 5 pontos mais representativos de cada nível de energia. Para então, a seguir, traçar as curvas de compactação correspondentes, conforme a Figura 3.



Figura 2. Etapa inicial do ensaio de compactação.

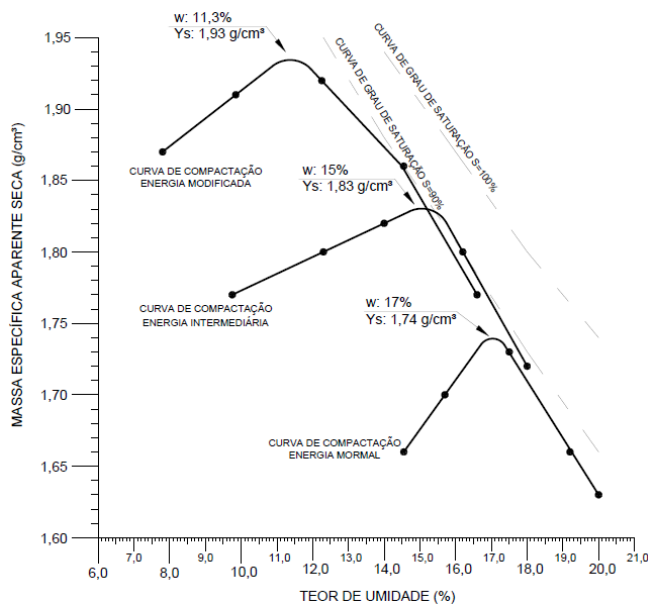


Figura 3. Curvas de Compactação.

A partir do gráfico apresentado anteriormente, foi possível determinar os valores da umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima para cada curva. Para a energia normal a umidade ótima foi de 17% e a massa específica aparente seca máxima foi de 1,73 g/cm³, para a energia intermediária os mesmos valores foram 15% e 1,83 g/cm³ e para a energia modificada foram 11,3% e 1,93 g/cm³. Observa-se que o teor de umidade tem relação direta com a energia aplicada no ensaio, quanto maior a energia de compactação, menor será a quantidade de água necessária para vencer o atrito entre os grãos do solo, a expulsão do ar dos vazios se dará de forma mais efetiva, conseqüentemente será atingido um valor maior de massa específica aparente seca, com um teor umidade mais baixo, como se esperava.

Em todos os níveis de energia foram moldados corpos de prova com umidades variando de 8% a 20%, porém para a energia normal, nas umidades 8%, 10% e 12%, inicialmente previstas, o solo se mostrou inconsistente na compactação. Foram então considerados valores válidos para umidades de 14 a 20%. Já para as energias intermediária e modificada, foi o elevado teor de umidade que trouxe problemas. Teores de umidade acima de 18% tornam o material extremamente plástico, sem oferecer resistência aos golpes do soquete aplicados, tornando a compactação ineficaz. Sendo assim, os valores com teores de umidade acima de 18% foram desconsiderados.

3.1 Ensaio de ISC

Foram utilizados os mesmos corpos de prova moldados para o ensaio de compactação para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC). Para a energia normal e intermediária, dos 12 corpos de prova moldados para cada nível de energia, 7 não passaram pelo processo de imersão e 5 foram

imersos, antes do ensaio de penetração. Para a energia modificada foram moldados 11 corpos de prova, dos quais 6 não passaram pela imersão e 5 foram imersos. Os valores plotados para este trabalho foram mostrados a partir de gráficos relacionando teor de umidade versus ISC e não Pressão versus Penetração conforme a norma NBR 9895 (2106) padroniza, embora tenham sido também gerados. A Figura 4 mostra as etapas A, B e C do ensaio de ISC com imersão, citadas anteriormente. Com “A” sendo a etapa onde os corpos de prova foram imersos no tanque para posterior ensaio, “B” mostrando a prensa utilizada para romper os corpos de prova e na etapa “C” aparecem os corpos de prova após a execução do ensaio de penetração.



Figura 4. Etapas A, B e C do processo de imersão.

A Tabela 1, mostra de forma resumida os resultados dos ensaios de ISC. Fazendo um comparativo em cada ponto com os corpos de prova de aproximadamente mesmo teor de umidade que passaram e que não passaram pelo processo de imersão. A numeração indicada nos pontos faz referência ao número do corpo de prova, atribuído nos ensaios de compactação. A variação, apresentada na última coluna, indica quantas vezes o valor do ISC reduziu resistência após passar pelo processo de imersão.

Os dados da tabela sugerem que o material teria um bom desempenho com baixos teores de umidade em uma condição sem imersão. O solo alcançou um valor ISC

de 52,14%, na energia modificada e 37,35% na energia intermediária, com teores de umidade na ordem de 10%. Para a energia normal o ISC foi de 14,42% para um teor de umidade de aproximadamente 12%.

Tabela 1. Valores obtidos.

ENERGIA NORMAL					
PONTOS	UMIDADE MÉDIA (%)	γ_d máx (g/cm ³)	ISC (%)		VARIACÃO (SI/CI)
			SEM IMERSÃO (SI)	COM IMERSÃO (CI)	
1-2	9,12	1,66	12,76	3,33	-3,83
5-4	12,58	1,67	14,42	4,81	-3,00
6-7	15,09	1,68	13,87	9,43	-1,47
8-9	17,63	1,71	11,09	6,66	-1,67
12-11	20,28	1,61	2,03	1,11	-1,83
ENERGIA INTERMEDIÁRIA					
PONTOS	UMIDADE MÉDIA (%)	γ_d máx (g/cm ³)	ISC (%)		VARIACÃO (SI/CI)
			SEM IMERSÃO (SI)	COM IMERSÃO (CI)	
2-1	10,38	1,78	37,35	4,81	-7,77
4-3	12,43	1,80	35,13	4,99	-7,04
6-5	14,51	1,81	18,50	11,09	-1,67
7-8	15,90	1,79	6,47	7,40	1,14
9-10	17,76	1,72	2,59	2,59	0,00
ENERGIA MODIFICADA					
PONTOS	UMIDADE MÉDIA (%)	γ_d máx (g/cm ³)	ISC (%)		VARIACÃO (SI/CI)
			SEM IMERSÃO (SI)	COM IMERSÃO (CI)	
1-2	6,67	1,85	35,50	6,84	-5,19
5-4	9,98	1,91	52,14	13,50	-3,86
7-6	12,06	1,92	43,64	15,16	-2,88
8-9	14,42	1,84	7,77	10,17	1,31
11-10	17,86	1,73	1,94	3,14	1,62

Porém, para teores de umidade elevados, ou após a imersão ocorreram perdas significativas de resistência, chegando a apresentar quedas próximas a 8 vezes o valor do ISC, quando não imerso, para a energia intermediária. A Figura 5 apresenta todas as curvas de ISC versus teor de umidade geradas a partir da Tabela 1, demonstrando um comparativo entre as curvas geradas pelos três níveis de energia de compactação, com e sem o processo de imersão, em relação ao teor de umidade. Observando o gráfico das curvas de ISC versus Teor de umidade fica visível o

ganho de resistência no ramo seco e as quedas significativas no ramo úmido, após o processo de imersão, de onde infere-se que o aumento do grau de saturação do solo causa uma perda significativa nos valores de resistência atingidos.

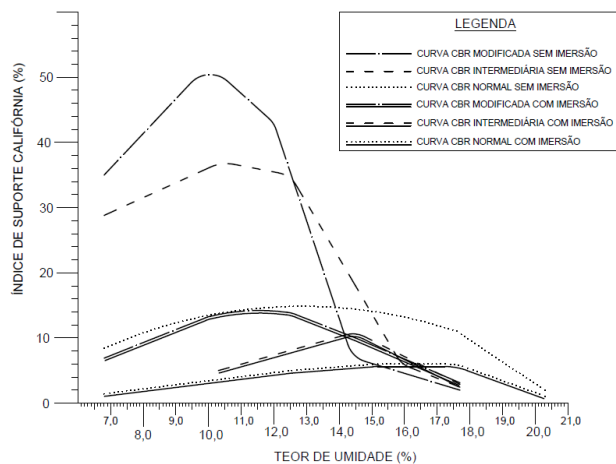


Figura 5. Curvas ISC x Teor de Umidade.

Comumente, para se determinar o valor do ISC de um solo se faz a compactação somente na umidade ótima. Na figura 6 estão traçadas as curvas de compactação e ISC em cada nível de energia. Observa-se que os maiores valores de ISC não foram encontrados na umidade ótima da compactação, para os diferentes níveis de energia de compactação, e sim em um teor de umidade mais baixo do que o teor de umidade ótima, fazendo-se um comparativo entre a umidade ótima da curva de compactação com a umidade na qual se alcançou o maior valor de ISC é possível observar como o teor de umidade influencia nesse fator.

Nota-se que os picos das curvas de ISC estão no ramo seco das curvas de compactação e vão se aproximando da umidade ótima conforme se aumenta a energia de compactação. Para a energia normal, o pico da curva de ISC sem imersão tem um teor de umidade 4,42% menor do que a umidade ótima e sofre uma queda de 3 vezes no valor da sua resistência quando imerso, para o pico

da curva de ISC com imersão. Para a mesma energia, esse teor de umidade é 1,68% menor do que a umidade ótima e sofre uma perda de resistência de 1,67 vezes no seu valor.

Para a energia intermediária, os teores de umidade nos picos das curvas de ISC se aproximam um pouco da umidade ótima, sendo 3,95% e 0,80% menores, para a curva sem imersão e com imersão respectivamente, porém, a queda de resistência é mais expressiva para a curva de ISC sem imersão, atingindo redução de 6,16 vezes no valor do ISC. Já para a curva com imersão encontra-se o menor valor de queda de resistência, que é de 1,4 vezes, mas atenta-se que a resistência anterior já era pequena, devido ao material já encontrar-se mais próximo à saturação.

Por fim, para a energia modificada, após a imersão, o teor de umidade no qual se atinge maior valor da curva de ISC está alinhado com a umidade ótima e apresenta uma perda de 2,88 vezes no valor da resistência, enquanto que para a curva de ISC sem imersão o teor de umidade no qual está o pico da curva é 1,25% menor do que a umidade ótima e sua queda de resistência é de 3,86 vezes.

Um fator interessante a ser observado é a existência de uma tendência para valores de convergência em todas as curvas de ISC, ou seja, a partir de determinado teor de umidade as curvas passam a ter a tendência de convergir para valores semelhantes, passando a ter muito pouco ou nenhum efeito no ganho de resistência à energia de compactação aplicada ou o processo de imersão. Analisando individualmente os gráficos das energias, pode-se observar claramente essa convergência no ramo úmido das curvas nos três níveis de energia.

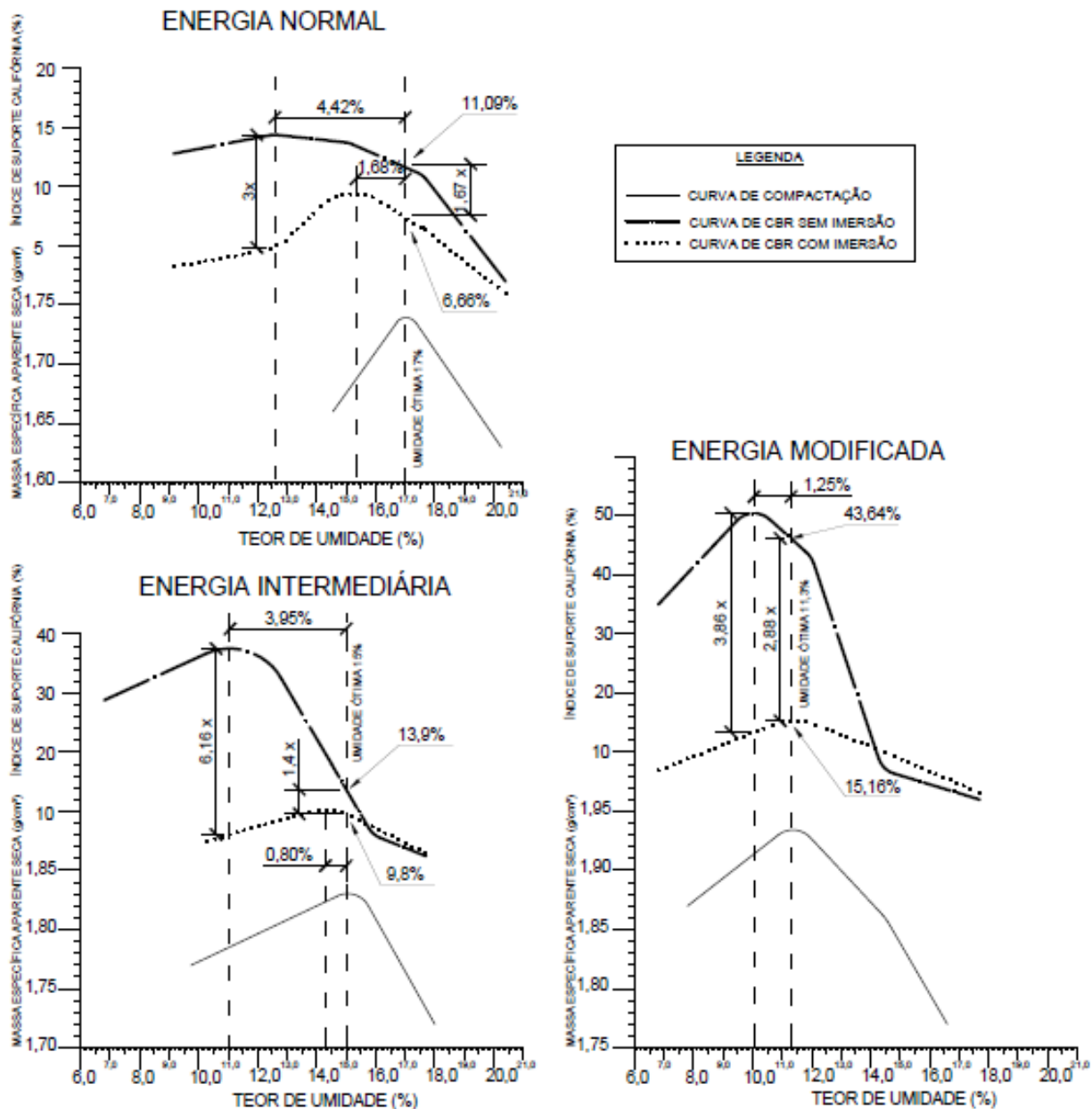


Figura 6. Relação entre ISC x Umidade ótima..

Porém ao se sobrepor todas as curvas, observa-se que essa tendência também ocorre de maneira geral, de forma mais semelhante entre as energias intermediária e modificada, que acontecem praticamente juntas, e de forma diferenciada na energia normal, ocorrendo em um teor de umidade mais alto, no entanto convergindo na mesma direção que as demais.

Como o ensaio de ISC corresponde de um ensaio de penetração, com uma força aplicada padronizada em uma área conhecida, é possível calcular a tensão aplicada no corpo de prova durante o ensaio. A Figura 7 destaca tensões máximas encontradas para os pontos de teor de umidade ótima nas curvas para os três níveis de energia de compactação.

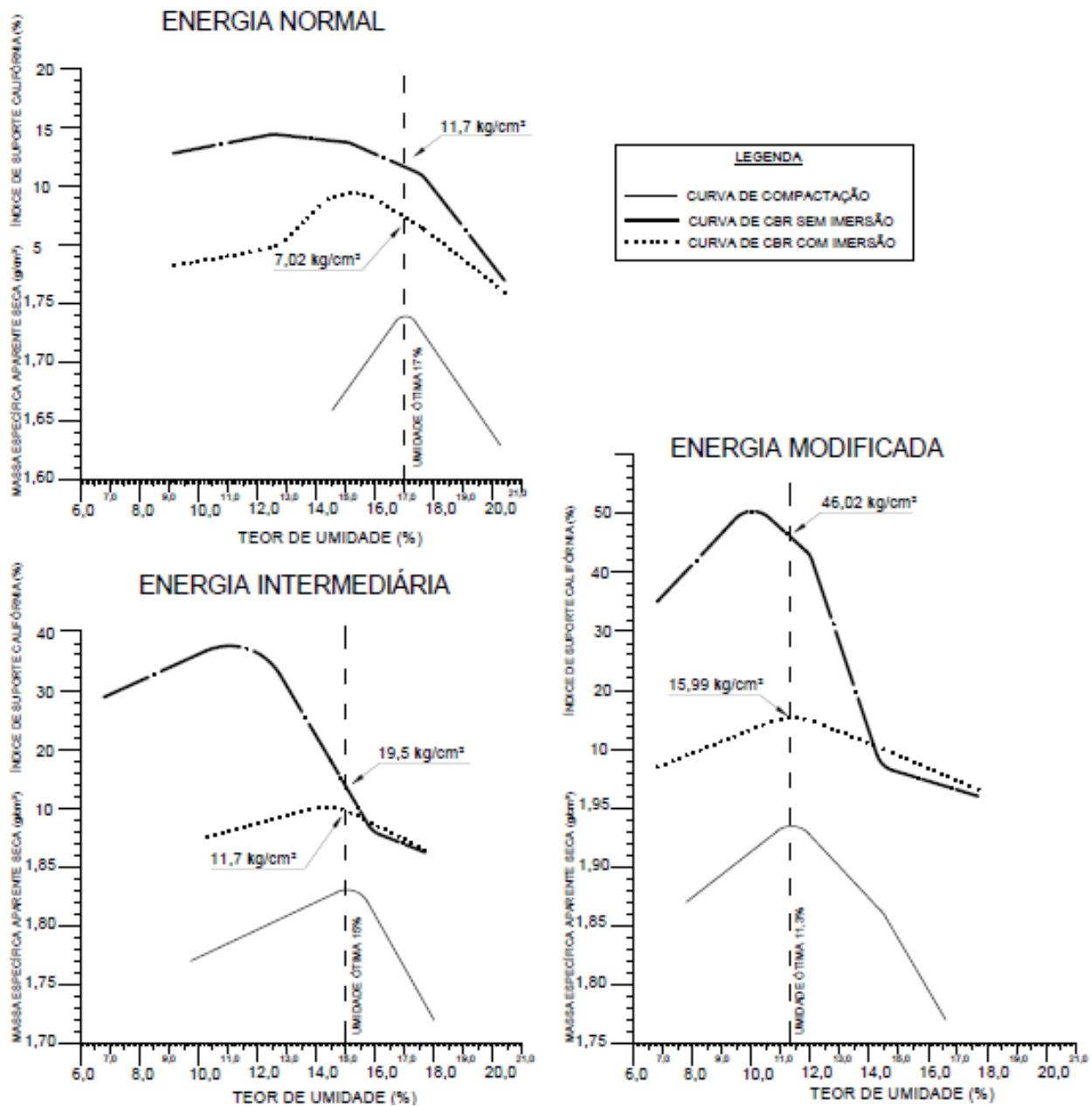


Figura 7. valores das pressões de referência ocorridas no ISC.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, com os resultados obtidos através dos diversos ensaios realizados em laboratório no solo estudado foi possível ter um melhor entendimento de seu comportamento quando compactado.

Primeiramente foi analisado o comportamento do solo com relação à compactação. Observou-se que o teor de umidade e a energia de compactação são os principais parâmetros que afetam os resultados do ensaio, estando diretamente ligados entre eles. Foi concluído que para teores de umidade baixas é necessária uma

maior energia de compactação para conseguir expulsar o ar dos vazios, já para teores de umidade altas uma maior energia de compactação causa pouco ou nenhum efeito positivo na compactação. Portanto, tem-se para cada nível de energia um teor de umidade ótimo o qual irá resultar na massa específica aparente seca máxima.

Posteriormente, foram analisados os resultados dos ensaios de ISC, comparando-se os dados dos resultados sem imersão, quando imerso e suas quedas de resistência em cada energia. Foram observadas quedas expressivas de resistência, principalmente para as energias intermediária e modificada, no ramo úmido das curvas de compactação e nos seus valores máximos de ISC atingidos antes e após a imersão. Estas quedas foram causadas pela aproximação do solo a uma condição de saturação, indicando sua sensibilidade à presença da umidade elevada, tendo pouca ou nenhuma influência a energia com a qual o solo foi compactado. Porém, observou-se também que no ponto de umidade ótima ocorre um efeito atenuado, sendo este ponto de menor perda de resistência após a imersão. De onde se conclui que na umidade ótima, embora não seja o ponto onde terá o maior valor da resistência, será o ponto de umidade de maior estabilidade, sofrendo menos os efeitos da imersão.

Em seguida, foi analisada a tendência deste solo para valores de convergência nas suas curvas ISC versus teor de umidade, surgindo a conclusão de que a partir de um certo teor de umidade, pouco ou nada importa a energia de compactação utilizada ou a imersão do corpo de prova, os valores resultantes serão muito próximos.

Na análise das tensões máximas suportadas por este solo foi concluído que quanto maior for a energia utilizada na compactação, tanto maior será a tensão máxima suportada pelo solo, para as umidades

nas quais o solo teve os maiores valores de ISC atingido.

O solo no momento da coleta apresentava características da rocha arenítica à qual deu origem ao solo, aparentemente de constituição dura, porém, com pouco esforço foi possível coletar material, que se mostrou friável e erodível, apresentando grande suscetibilidade à influência da água.

De acordo com o objetivo inicial do trabalho, observou-se que com umidades não muito elevadas o solo já sofre perdas de resistência, e apesar de sua massa específica chegar a $1,90 \text{ g/cm}^3$ com a correta compactação, na energia modificada, o material sofre expressiva queda de resistência quando saturado. Isto limita o uso desse material para construções de aterros ou bases para fundação. Também não é indicado para construção de taludes sem revestimento adequado, quando em aterros deve-se garantir sua estanqueidade. Porém, como aterro de tardo de muros de contenção tem bom comportamento uma vez que tais aterros se encontram confinados, como apresentado por Boher et al. (2017)

Nos ensaios de ISC foram obtidos os valores máximos de 43,64% para os ensaios sem imersão e 15,16% para o ensaio com imersão, ambos na energia modificada. Esses dados são utilizados principalmente para a determinação das camadas de pavimentação, segundo critérios de dimensionamento do DNIT. Para este solo, nesta energia, poderia ser utilizado como camada de subleito e de reforço de subleito, desde que a camada de subleito, propriamente dita, tenha um valor de ISC menor do que 15%. Por outro lado, não poderia ser usado como camada de sub-base e tão pouco como camada de base.

Apesar de o solo estudado ter apresentado bons resultados, no que se refere à massa específica aparente seca máxima e ISC, principalmente na energia modificada e sem a

imersão, ele sofre muitas limitações devido à sensibilidade à presença da água.

Portanto, para trabalhos futuros, pode ser estudado o uso de materiais que misturados a este solo possam melhorar sua estabilidade e reduzir as quedas nas resistências após a imersão, comparando os resultados com os obtidos neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6457. (2016). Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 8p.

ABNT NBR 7182. (2016). Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro. 9p.

ABNT NBR 9604. (2016). Procedimento - Abertura de Poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro. 9p.

ABNT NBR 9895. (2016) – Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 14p.

ADEKALU, K. O; OKUNADE, D. A. AND OSUNBITAN, J. A. 2007. Estimating trafficability of three Nigerian agricultural soils from shear strength-density-moisture relations. **International Agrophysics** 21: 1-5.

ANTUNES, A. (2017) **Análise de um Talude Rompido em Solo Residual de Arenito: RS122/São Sebastião do Caí-RS**. Trabalho de Diplomação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AGUIAR, L. A. **Contribuições para a Análise do Comportamento Mecânico de Solos Compactados para uso em Barragens**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-184/10, Departamento de Engenharia Civil e

Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p, 2010.

BERTASO, V.G. (2017). **Resistência ao Cisalhamento Paralela e Perpendicular ao Plano de Compactação de um Solo Residual de Arenito Compactado em Campo**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

BERTI, C. (2005). **Avaliação da capacidade de suporte in-situ em obras viárias através do cone de penetração dinâmica estudo experimental**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BOHRER, L.; ANTUNES, M. A.; AZAMBUJA, E. (2017). Diagnóstico e Projeto de Contenção-Monumento para Estabilização de um Talude de Corte em Solo Residual de Arenito Arcoseano. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encosta, **COBRAE**, ABMS, Florianópolis, ISSN: 2594-9217.

CARVALHO, R.G. (2005). **Correlações entre os ensaios DCP e CBR para solos saprolíticos de textura fina**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Porto Alegre.

DNIT. Norma DNIT IPR -719. (2006) – Manuais - Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro. 274p.

FLORIANO, C.; PFEIFER, E. M.; BERTASO, V.G.; DONASSOLLO, A. (2018). Comportamento Geomecânico de Solos Compactados: Resulta dos de Ensaio em um Solo Residual de Arenito Botucatu utilizado como Solo Reforçado no RS. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e

desenvolvimento Urbano. **COBRAMSEG**, ABMS, Salvador.

MITCHELL, J. K. Panel discussion on compaction, testing, and test results. *Compaction of Soils. American Society for Testing and Materials*, pp. 80-135. Chicago, 1964.

PFEIFER, E. M. (2017). **Análise do comportamento mecânico de um solo residual de arenito reforçado com fibra de polipropileno e compactado em laboratório**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

QUADROS, F. D. (2017). **Uso do DCP para Controle de Compactação de Aterro em Muro de Contenção**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

QUADROS E FLORIANO. (2018). **Uso do DCP para Controle de Compactação de Aterro em Muro de Contenção**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e desenvolvimento Urbano. **COBRAMSEG**, ABMS, Salvador.

RODRIGUEZ, A.R; CASTILLO, D. del. *La Ingenieria de Suelos em las Vias Terrestres – Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. México: **Editorial Limusa**, 1976.

SILVA, A. M. **Estudo de parâmetros de compactação Proctor no comportamento mecânico do solo**. 2015. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e

Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo, 1977. 509 p.