

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



Caracterização Física, Mecânica e de Resistência de um solo do município de Cruz Alta- RS

Patrícia Rodrigues Falcão

Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, falcao.rodrigues.patricia@gmail.com

Gustavo Corbellini Masutti

Mestrando, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, gcmasutti@gmail.com

Haline Dugolin Ceccato

Mestranda, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, haline.ceccato@gmail.com

Pedro Henrique Sartoretto Meurer

Graduando, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, phsmeurer@gmail.com

Magnos Baroni

Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, magnos.baroni@gmail.com

RESUMO: Sob o ponto de vista das solicitações de interesse nos projetos de engenharia, é imprescindível compreender a diversidade das características e do comportamento dos solos, já que eles são utilizados como um instrumento de suporte. Face a esse panorama, o presente estudo tem como propósito complementar uma base de dados do município de Cruz Alta no Rio Grande do Sul. Por consequência, foram realizados ensaios de campo e laboratório com a finalidade de avaliar a variação comportamental do solo não saturado com possível vulnerabilidade ao colapso. No campo foram realizadas três sondagens do tipo SPT e a coleta de amostras indeformadas e deformadas. Em Laboratório foram realizados ensaios de caracterização física, mecânica e de resistência. As propriedades de resistência ao cisalhamento e colapsabilidade foram avaliadas por intermédio de ensaios de cisalhamento direto convencionais. O resultado da pesquisa revelou que o solo apresenta susceptibilidade ao colapso, o que pode justificar diversas patologias observadas em construções no município.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios de Campo, Ensaios de Laboratório, Resistência ao Cisalhamento.

ABSTRACT: From the point of view of requests for interest in engineering projects, it is essential to understand the diversity of characteristics and soil behavior, which are already used as a support instrument. Facing this panorama, the present study aims to complement a database of the municipality of Cruz Alta in Rio Grande do Sul. Consequently, field and laboratory tests were carried out with the estimate of unsaturated behavioral variation of the soil with possible vulnerability to collapse. In the field, three SPT surveys were performed and the removal of non-deformed and deformed samples. In the Laboratory, tests of physical, mechanical and resistance characterization were carried out. The properties of shear strength and collapsibility were evaluated using direct shear tests. The result of the research revealed that the soil is susceptible to collapse, which justifies several pathologies observed in buildings in the municipality.

KEYWORDS: Field Tests, Laboratory Tests, Shear Strenght.

1 Introdução

Em obras residenciais e de pequeno porte, raramente os projetos são embasados em um estudo geotécnico aprofundado. Em geral, os parâmetros utilizados em projetos de fundações são baseados em

correlações obtidas por meio de sondagens de simples reconhecimento. Todavia, é primordial a correta caracterização geotécnica para o entendimento do real comportamento do solo.

No entanto, alguns materiais não apresentam comportamento condizente com o esperado pela mecânica dos solos tradicional. Nesse cenário enquadram-se os problemas associados a colapsibilidade. Esses solos não saturados ao serem submetidos a um determinado estado de tensão e sujeitos a um eventual processo de umedecimento, acabam sofrendo uma redução considerável em seu volume. As deformações geradas apresentam uma elevada magnitude acarretando em algumas patologias nas obras assentes sobre esse terreno.

O presente trabalho visa ampliar o banco de dados referente aos parâmetros que caracterizam o solo, bem como permitir uma interpretação correta do comportamentos dos fatores que afetam na sua resistência. Logo, o estudo engloba ensaios de campo e laboratório. Cujo o principal objetivo é a caracterização geotécnica de um solo não saturado de comportamento colapsível do município de Cruz Alta no Rio Grande do Sul. Foram também realizados ensaios de resistência ao cisalhamento convencionais visando caracterizar o solo estudado quanto as propriedades geomecânicas.

2 Caracterização Geotécnica

A caracterização geotécnica do solo foi realizada por intermédio de estudos de campo e de laboratório. No campo foram realizadas: sondagens do tipo SPT, coleta de amostras indeformadas e deformadas. No laboratório foram realizados ensaios de caracterização (granulometria, limites de Atterberg, densidade dos grãos e compactação).

2.1 Sondagem de Simples Reconhecimento

O principal objetivo das sondagens SPT nessa pesquisa é avaliar a variação espacial do perfil, bem como a resistência a penetração (N_{spt}). A Figura 1 apresenta o número de golpes plotado contra a profundidade, bem como o perfil geotécnico e a localização das sondagens realizadas no campus da Unicruz em Cruz Alta-RS.

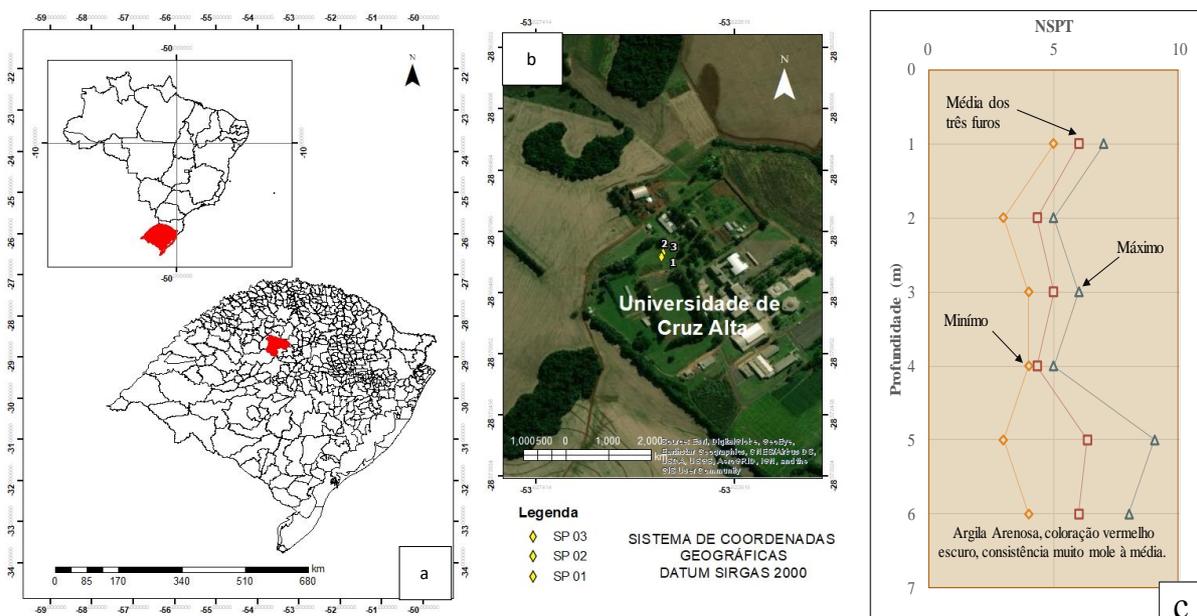


Figura 1. (a)Município de Cruz Alta; (b) Localização dos furos de sondagem e (c)Resultados da Sondagem de Simples Reconhecimento.

Conforme apresentado na Figura 1, o perfil geotécnico do local em estudo apresenta uma baixa resistência a penetração, indicando um solo com baixa capacidade de suporte dependendo da solitação imposta. A variação apontado no perfil é oriunda da própria variabilidade das condições geotécnicas do subsolo, logo para cada projeto é necessário avaliar separadamente as implicações da adoção de valores médios ou mínimos de resistência.

2.2 Ensaios de Caracterização Geotécnica

Os ensaios de caracterização física foram realizados por intermédio das metodologias da norma brasileira: NBR 7181 para a granulometria; NBR 6459 para os limites de liquidez e plasticidade; NBR 6508 para o peso específico real dos grãos e NBR 7182 para os ensaios de compactação.

Esses ensaios foram realizados através de amostras deformadas obtidas durante o processo de moldagem das amostras indeformadas. Cabe ressaltar, que para o ensaio de granulometria, além do procedimento prescrito na norma citada, os ensaios foram também realizados sem o uso do defloculante, mantendo o restante do procedimento idêntico ao prescrito na norma. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas referentes aos ensaios realizados com e sem o uso de defloculante.

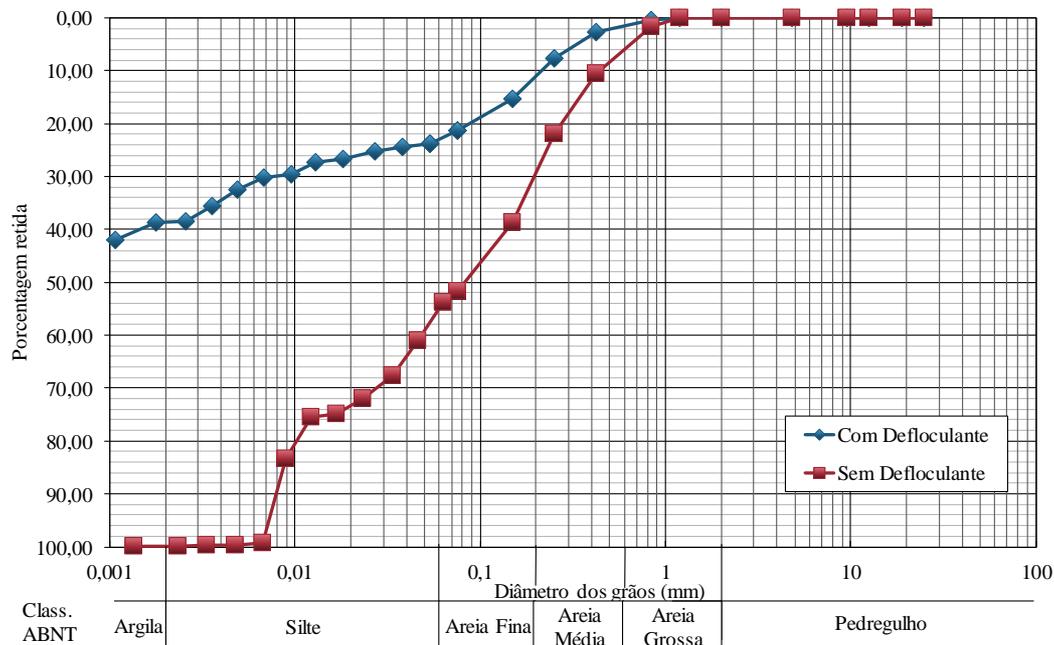


Figura 2. Curvas Granulométricas.

A diferença dos resultados apresentados na Figura 2 ressaltam a importância do defloculante para a dispersão das partículas. Quando o ensaio é realizado conforme o procedimento previsto na norma NBR-7181, a sedimentação das partículas ocorre de maneira isolada o que resulta na detecção dos diâmetros equivalentes. No ensaio sem defloculante, a sedimentação ocorre rapidamente, já que as partículas estão no seu estado natural. Logo, os diâmetros maiores encontrados são resultantes das agregações e não das partículas. A Tabela 1 apresenta os resultados da composição do solo (ensaio com defloculante), peso específico real dos grãos, atividade das argilas e Limites de Atterberg.

Tabela 1. Resultados da Caracterização Geotécnica.

Prof. (m)	Comp. Granulométrica (%) ABNT					Limites de Atterberg			Peso específico (kN/m ³)		
	Argila	Silte	Areia			Pedre- gulho	LL	LP		IP	
			Fina	Média	Grossa						
2	62	15	11	11	1	0	49%	32%	18%	0,45	27,96

Considerando os resultados dos ensaios realizados com o uso do defloculante (Tabela 1), o solo apresenta uma granulometria, predominantemente fina, com mais de 75% passante na peneira 200 (0,075m m). O solo é classificado como uma argila siltosa. A densidade dos grãos é igual a 2,8, indicando um solo de comportamento laterítico.

Todavia, só a distribuição granulométrica não caracteriza adequadamente o solo sob o ponto de vista da prática de engenharia, já que a fração fina tem papel fundamental no comportamento do solo. Com o objetivo de entender a influência dessas partículas argilosas foram realizados os ensaios de Limites de Atterberg. A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, conclui-se que índice de plasticidade (IP) indica um solo de comportamento altamente plástico. A análise quanto a atividade da fração argilosa é realizada através da razão entre o IP e a fração de argila (menor que 0,002mm). Para o solo em estudo o índice de atividade indica a argila como inativa.

2.3 Compactação

Uma solução empregada na prática da engenharia em solos colapsíveis é a destruição da estrutura original desse material por intermédio da compactação. Por consequência, ensaios de compactação foram realizados com a finalidade de caracterizar o solo nessa condição. Para esse estudo, o ensaio em questão, foi realizado conforme a NBR 7182, seguindo as recomendações de secagem prévia e reuso das amostras. Na Figura 3 são apresentadas as curvas de compactação sobrepostas às curvas de diferentes graus de saturação (grau de saturação de 100%, e grau de saturação na umidade ótima).

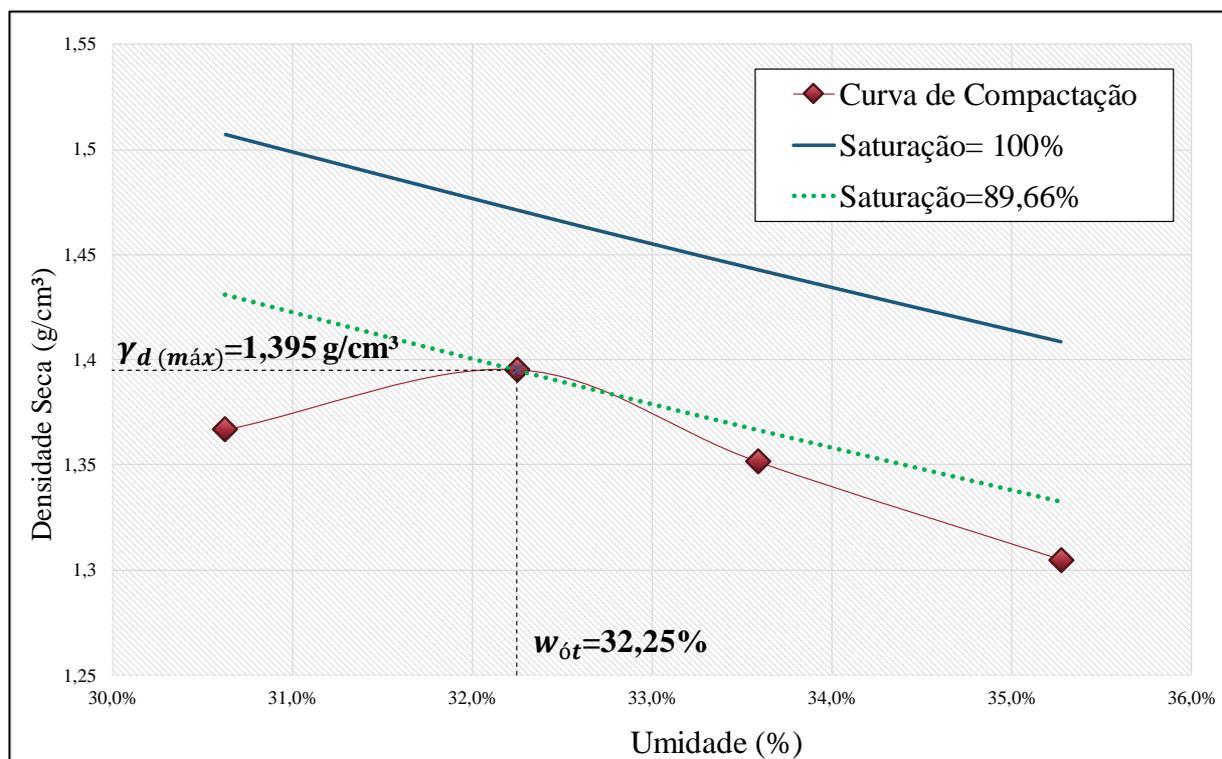


Figura 3. Curva de Compactação e saturação.

Conforme apresentado na Figura 3, a curva de compactação apresenta comportamento característico de material argiloso, com elevada umidade ótima (32,25%) e baixo valor de massa específica seca máxima (1,395 g/cm³). Nas condições de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima, o solo estudado apresentou um grau de saturação de 89,96%. O valor do peso específico seco médio do solo natural é compatível com o observado em solos colapsíveis da literatura (11 a 17kN/m³).



2.4 Índices Físicos

Durante o processo de amostragem em campo os corpos-de-prova foram moldados a 2m de profundidade, com a finalidade de obter o teor de umidade e os índices físicos (peso específico natural, índice de vazios, porosidade e grau de saturação). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Índices Físicos.

Teor de Umidade (%)	Peso específico natural (kN/m ³)	Índices de vazios	Porosidade (%)	Grau de Saturação (%)
33,50	15,19	1,456	59	64,33

2.5 Ensaios de Caracterização Geotécnica pela metodologia MCT

A classificação geotécnica dos solos, no âmbito da engenharia, tem como finalidade estimar o provável comportamento de um solo. Os métodos de classificação HRB – Highway Research Board – AASHO e SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos são baseados em solos de clima temperado. Com decorrer do tempo, surgiu a necessidade de avaliar qual o comportamento dos solos tropicais, uma vez que, eles possuem diferentes propriedades e características devido a atuação de processos geológicos e pedológicos típicos das regiões tropicais úmidas.

Os ensaios referentes a classificação MCT foram realizados tendo em vista as normativas rodoviárias do DNER: DNER-ME 256/94 (Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão) e DNER-ME 258/94 (Solos compactados em equipamento miniatura – Mini MCV). As amostras foram preparadas com material passante na peneira n° 10, sendo devidamente misturadas e ensacadas por um período de 24 horas, para homogeneização das amostras. Posteriormente, a moldagem dos corpos de provas foi realizada por intermédio de cilindros de 50 mm de diâmetro e 130 mm de altura, atendendo o número de golpes e os critérios de parada indicados em norma. Após a etapa da compactação, as amostras foram submersas em água durante 24 horas para determinação da perda de massa por imersão.

A partir da classificação MCT, o solo em estudo, apresentou comportamento laterítico argiloso e foi identificado como pertencente ao grupo LG'.

3 Ensaios Geomecânicos

Na literatura é frequente a associação do colapso com a redução do volume devido ao rearranjo estrutural do solo, quando submetido a um processo de inundação. Todavia, ao comparar os resultados obtidos em ensaios de cisalhamento direto em solos calapsíveis no estado natural e inundado observa-se uma significativa redução da coesão do solo.

Nesse estudo a avaliação da resistência ao cisalhamento do solo foi realizada com o objetivo principal de obter os parâmetros de resistência do solo na condição natural e inundada. E por fim, avaliar a colapsabilidade do material em estudo.

Para alcançar os objetivos apresentados no parágrafo acima, foi realizado o ensaio de cisalhamento direto convencional (CD). As amostras utilizadas foram indeformadas obtidas a 2 m de profundidade. O critério de ruptura adotado corresponde aos valores de pico da tensão cisalhante.

3.1. Ensaio de Cisalhamento Direto Convencional

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados na umidade natural das amostras e com inundação. As envoltórias de resistência foram definidas a partir de ensaios de tensões normais de 50, 100, 150 e 200 kPa. Os valores de tensão cisalhante de ruptura adotados referem-se aos valores de pico.

A Figura 4 apresenta as envoltórias de ruptura obtidas nos ensaios de cisalhamento direto (CD), nas condições natural e inundada. Para a condição natural foi obtido uma coesão de 13,4 kPa e ângulo de atrito de 29,40°. Já no caso de inundação o valor da coesão foi de 2,5 kPa e ângulo de atrito correspondente a 25,60°.

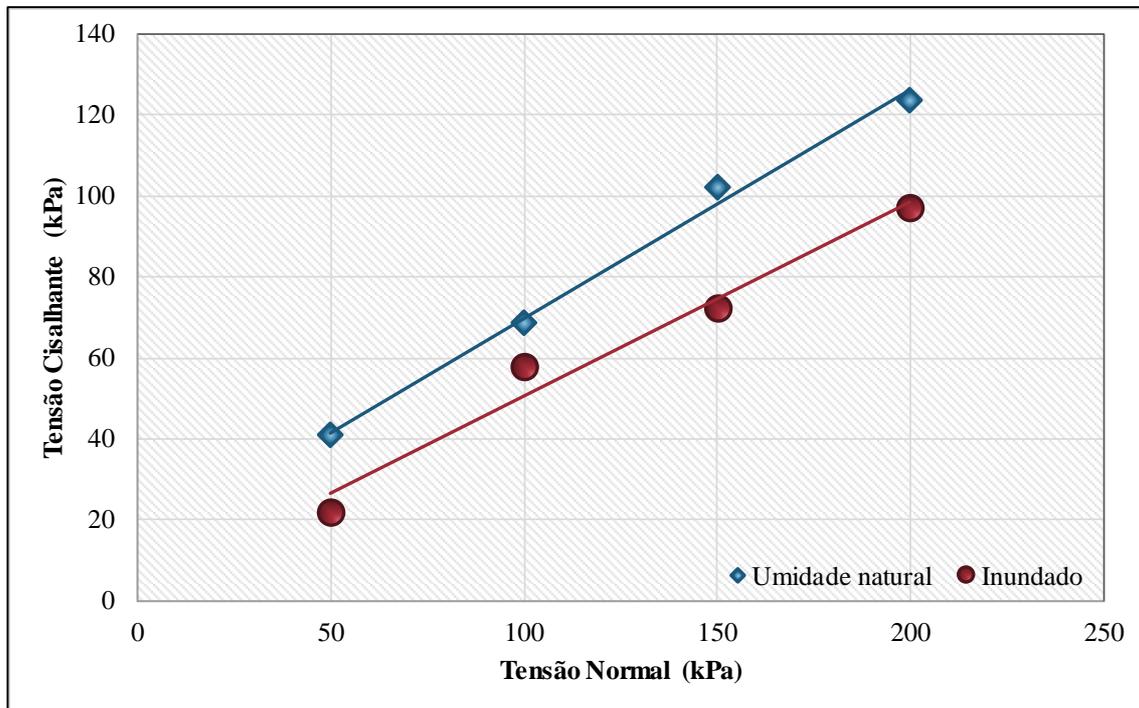


Figura 4. Envoltórias de resistência na consição natural e inundada.

3.2. Avaliação da Colapsibilidade

Com a finalidade de avaliar o potencial de colapso do solo estudado, foram realizados ensaios de colapsibilidade no equipamento do cisalhamento direto. Nestes ensaios, foram utilizadas amostras indeformadas (lado=5cm e altura=2cm) sujeitas a determinada tensão normal e submetidas a uma inundação súbita. Por conseguinte, os incrementos das deformações geradas foram medidos.

O colapso foi avaliado para as tensões normais de 50, 100, 150 e 200 kPa. Os tempos mínimos para as deformações pré e pós inundação foram de no mínimo 30 mim cada. A partir dos resultados o potencial de colapso pode ser calculado a partir da Equação 1:

$$PC(\%)_{\text{Cisalhamento Direto}} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (1)$$

Onde: Δe é a variação do índice de vazios devido ao colapso e e_0 índice de vazios inicial..

As demais análises realizadas referem-se a quantificação da deformação total ocorrida antes do cisalhamento (Equação 2) e a deformação oriunda do carregamento vertical (Equação 3).

$$\text{Deformação (total)} = \frac{e_0 - e_f}{1+e_0} \quad (2)$$

$$\text{Deformação (Carregamento)} = \frac{e_0 - e_i}{1+e_0} \quad (3)$$

A Figura 5 apresenta o potencial de colapso para o solo em estudo na configuração natural. É possível observar que os valores referentes ao potencial de colapso, em geral, crescem com o incremento da tensão vertical. De acordo com a proposta por Jennings & Knight (1975) para um $PC > 20\%$, considerando uma tensão normal de 200 kPa, a magnitude do problema é muito grave. Logo, o local em estudo apresenta um potencial maior do que o indicado pela literatura, podendo resultar em diversas patologias nas futuras construções assentes nesse terreno.

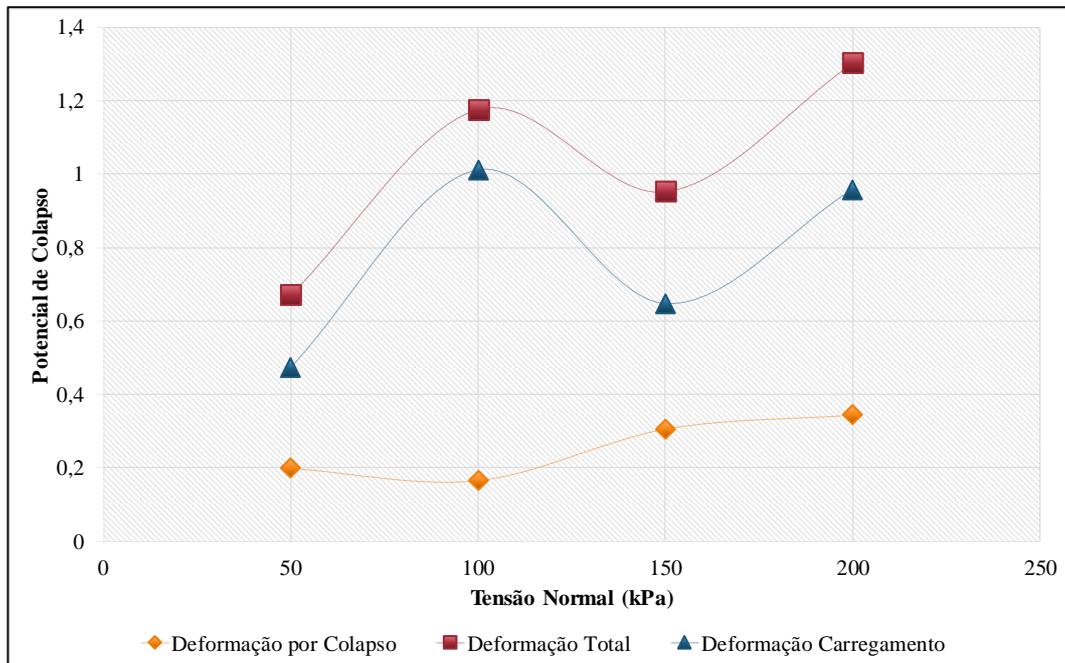


Figura 5. Potencial de Colapso.

Conforme pode ser observado na Figura 5 a deformação total e por carregamento apresentam comportamento semelhante. Ou seja, ocorreu o crescimento das deformação até a tensão de 100kPa e uma breve queda nos valores em 150kPa e, por fim, um aumento até a tensão de 200 kPa.

5 Conclusões

Esse trabalho teve como objetivo a avaliação das diferentes características geotécnicas de um solo laterítico do município de Cruz Alta no Estado do Rio Grande do Sul. Com base nos resultados apresentados para o solo, pôde-se inferir que:

- De acordo com a de Sondagem de Simples Reconhecimento, os valores do índice de resistência a penetração são baixos, o que conseqüentemente infere na capacidade de carga do terreno. O perfil de solo é constituído de uma camada bem definida de argila siltosa.
- As análises granulométricas de ensaios realizados com e sem o uso do defloculante indicam um solo de natureza pouco dispersiva.
- A partir da classificação MCT, o solo em estudo, apresentou comportamento laterítico argiloso e foi identificado como pertencente ao grupo LG'.
- O solo em estudo teve seu comportamento quanto a resistência ao cisalhamento avaliado por meio de ensaios de cisalhamento direto convencionais de umidade natural e inundada. Os resultados apresentam uma significativa variação da coesão a partir da inundação.
- Por intermédio dos ensaios de cisalhamento direto foi possível observar que o índice de vazios é o parâmetro que influência diretamente na colapsibilidade do solo. Conforme apresentado, o solo apresenta deformações totais e por carregamento significativas, podendo gerar graves patologias em edificações. À proporção que foi realizado um incremento no valor da tensão normal o potencial de colapso variou de 20% a 34%. Indicando valores extremamente altos para PC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e caracterização*. Rio de Janeiro.



- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508. *Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo- Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo- Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo- Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). ME 256/94: *Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão*. Rio de Janeiro, RJ, DNER, 6 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). ME 258/94: *Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV*. Rio de Janeiro, RJ, DNER, 14 p.
- FUCALE, S.P. (2000). Comportamento de Variação de Volume Devido à Inundação em Alguns Solos Colapsíveis do estado de Pernambuco. Dissertação de mestrado, UFPE, Recife, 138p.
- FUTAI, M.M. (1997). Análise de Ensaio Edométrico com Sucção Controlada em Solos Colapsíveis. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 288p.
- FUTAI, M.M. (2000). Comportamento Colapsível de Solos Tropicais Brasileiros. VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Vol. 1, pp.193-204.
- GUIMARÃES NETO, J.S. (1997). Análise de Alguns Fatores que Podem Influenciar a Colapsibilidade de um Solo Compactado Devido à Inundação. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife – PE, 105p.
- JENNINGS, J. E. & KNIGHT, K. (1975). A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. *Proced. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Durban, p. 99-105.
- MACHADO, S.L. & VILAR, O.M. (1998). Resistência ao Cisalhamento de Solos Não Saturados: Ensaio de Laboratório e Determinação Expedida. *Revista Solos e Rochas*. Vol. 21, No 2, pp. 65-78.
- Medero, M. G., Schnaid F. Gehling W. Y.Y (2001) Análise do comportamento mecânico de um material colapsível. 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. pp-235-255.
- SCHNAID, F e ODEBRECHT, E. (2012). *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. 2.ed Oficina de Textos. São Paulo, Brasil.