

Caracterização Física e Mecânica do Solo em Primavera do Leste - MT: Um Estudo sobre os Solos Tropicais potencialmente colapsáveis

Antonio Carlos de Lara Fortes 1

Graduando em Engenharia Civil, IFMT, Cuiabá, Brasil, antoniocarlosfortes@gmail.com

Ilço Ribeiro Junior 2

Professor, IFMT, Cuiabá, Brasil, ilco.ribeiro@ifmt.edu.br

RESUMO: O Brasil é formado em sua grande maioria por solos tropicais, cujos mantos de intemperismo encontram-se quase sempre em condições não saturadas. O fenômeno do colapso no Brasil tem-se mostrado como causa de vários danos em obras de engenharia, ocasionando diversos prejuízos financeiros quando não são bem conhecidos e considerados ainda na fase de projeto. Estes solos são caracterizados por apresentarem uma estrutura porosa, com elevados índices de vazios e um teor de umidade muito inferior ao necessário para sua completa saturação. Quando estes solos sofrem um simples ganho de umidade, podem desencadear recalques adicionais repentinos, não previstos e de grandes proporções em suas fundações, causando sérios danos à estrutura das edificações. A ocorrência de solos colapsáveis é geralmente verificada no Brasil em solos que tem sofrido lixiviação dos horizontes mais superficiais, em regiões onde se alternam estações secas e de precipitações intensas, como é o caso do Município de Primavera do Leste – MT. O solo nesta região apresenta diversos problemas em obras civis e agrícolas, como silos e galpões para armazenagem de grãos, causando trincas e rachaduras nas paredes, estruturas e recalques de fundo. O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento dos solos porosos e colapsáveis desta região, entendendo melhor o seu comportamento, propriedades físicas e mecânicas. Os estudos foram conduzidos fundamentalmente com ensaios geotécnicos de laboratório, onde as amostras foram coletadas de forma amolgadas, e realizados ensaios de Limite de liquidez, plasticidade, granulometria com sedimentação; pH, e compactação de solo. Também, coletaram-se amostras indeformadas em bloco, realizando-se os ensaios compressão edométrica, cisalhamento direto no estado natural e saturado e ensaios de resistência triaxiais UU e CU. Os resultados de caracterização mostram que se trata de uma areia fina argilosa, com baixo potencial ativo na fração argila, e pH alcalino. Nos ensaios edométricos duplos, foi possível avaliar a redução dos índices de vazios do solo ao longo do acréscimo do estado de tensões, obtendo-se também um potencial de colapsividade em torno de 12%, indicando assim, alta suscetibilidade ao colapso. Os ensaios de cisalhamento direto e triaxiais indicaram resultados compatíveis com este tipo de solo e condições impostas, obtendo melhores índices de resistência nas amostras com umidade natural, e sofrendo aumento de deformabilidade e queda significativa na resistência, quando saturados. De forma geral, o solo se mostra com alto grau de colapsividade e, deve ser identificado e tratado de forma cuidadosa pela Engenharia Civil.

PALAVRAS-CHAVE: Solos colapsáveis, Potencial de colapsividade, Caracterização, Compressibilidade, Resistência.

ABSTRACT: Brazil is predominantly composed of tropical soils, whose weathered mantles are typically found in unsaturated conditions. The collapse phenomenon in Brazil has been shown to cause various damages in engineering projects, leading to significant financial losses when not well understood and considered even during the design phase. These soils are characterized by a porous structure, with high void ratios and a moisture content much lower than necessary for complete saturation. When these soils undergo a simple increase in moisture, they can trigger sudden, unforeseen additional settlements of considerable proportions in their foundations, resulting in severe damage to building structures. The occurrence of collapsible soils is commonly observed in Brazil in soils that have undergone leaching of the superficial horizons, in regions where dry seasons alternate with intense precipitation, such as in the Municipality of Primavera do Leste – MT. The soil in this region presents several issues in civil and agricultural works, such as silos and warehouses

for grain storage, leading to cracks and fissures in walls, structures, and bottom settlements. The objective of this work is to study the behavior of porous and collapsible soils in this region, gaining a better understanding of their behavior, physical, and mechanical properties. The studies were primarily conducted with laboratory geotechnical tests, where samples were collected in a disturbed manner, and tests for Liquid Limit, plasticity, sedimentation granulometry, pH, and soil compaction were performed. Undisturbed block samples were also collected, and tests were conducted for edometric compression, direct shear in natural and saturated states, and UU and CU triaxial strength tests. The characterization results show that it is a clayey fine sand, with low active potential in the clay fraction, and alkaline pH. In the double edometric tests, it was possible to evaluate the reduction of soil void ratios throughout the increase in stress states, also obtaining a collapsibility potential of around 12%, thus indicating high susceptibility to collapse. Direct shear and triaxial tests indicated results consistent with this type of soil and imposed conditions, with better strength indices in samples with natural moisture, and experiencing increased deformability and a significant drop in strength when saturated. Overall, the soil shows a high degree of collapsibility and must be identified and treated carefully by Civil Engineering.

KEYWORDS: Collapsible soils, Collapsibility potential, Characterization, Compressibility, Strength.

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade dos solos é uma preocupação crucial na engenharia civil, especialmente quando se trata de solos tropicais, que apresentam características únicas e desafios específicos. Segundo Pinto (2006), os solos podem variar em sua estrutura devido a processos físico-químicos ao longo do tempo, influenciando diretamente propriedades como deformabilidade e resistência.

A estabilidade do solo é item de relevância para considerar dentro dos parâmetros técnicos da engenharia, pelo fato do solo ser a última parte da transferência de carregamento em uma obra. Mariz (1993) diz que a definição de instabilidade estrutural do solo é muito ampla por envolver diversos fatores, mas resumindo é quando o solo apresenta uma mudança brusca no comportamento de tensão e deformação quando saturado. Freitas Neto (2008) destaca que os solos não saturados são mais comuns em regiões de clima árido e semiárido, onde a evaporação supera a infiltração no solo. Esses solos são compostos por uma fase sólida, líquida e gasosa, além de uma quarta fase denominada película contrátil, conforme mencionado por Benatti (2010) e Fredlund. Os solos colapsíveis são um desses solos instáveis que reduzem de volume rapidamente quando sofrem um carregamento com ou sem aumento da umidade. Para Gomes (2006), uma característica marcante é a velocidade do fato, que em curto espaço de tempo o solo sofre recalques abruptos. Além disso, ele diz que o colapso pode ocorrer quando há uma interferência de algum agente externo, enfraquecendo os vínculos de ligação do solo, provocando os deslizamentos das partículas.

Em regiões tropicais, como a cidade de Primavera do Leste, no estado de Mato Grosso, os solos colapsíveis podem causar problemas na construção civil. A ocorrência desse tipo de solo é relatada por Barbosa et al. (2022), tornando-se relevante principalmente devido à cidade apresentar, segundo Oliveira et al. (2015), uma crescente populacional acima da média, influenciada pelo agronegócio. Isso impulsiona diretamente o setor de infraestrutura, tanto urbana quanto industrial. O objetivo deste estudo foi caracterizar o solo desse município com ensaios geotécnicos de laboratório, com amostras coletadas de forma amolgada, e realizados ensaios de Limite de liquidez, plasticidade, granulometria com sedimentação; pH, e compactação de solo. Também foram coletadas amostras indeformadas em bloco, realizando-se os ensaios de compressão edométrica, cisalhamento direto no estado natural e saturado, além de ensaios de resistência triaxial (UU e CU).

2 METODOLOGIA

A cidade de Primavera do Leste está localizada no estado de Mato Grosso, a 240 quilômetros de distância da capital do estado. Seu acesso se dá por duas rodovias principais: a Estadual MT-130 e a Federal BR-070, conforme mostrado na Figura 1. Seu crescimento foi impulsionado pelo governo federal através das políticas

de expansão da agropecuária na região Centro-Oeste, que atualmente é a base de sua economia.

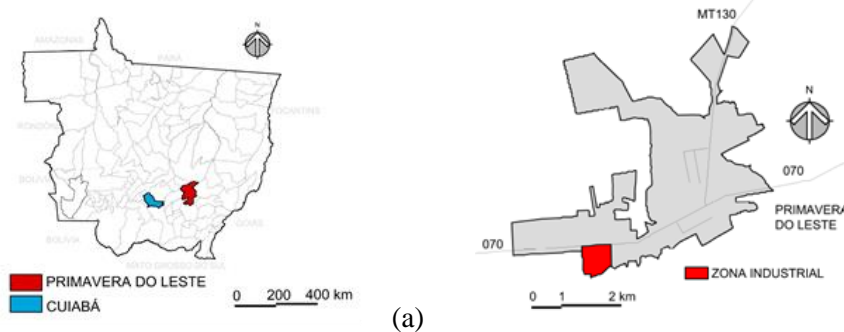


Figura 1. (a) Mapa de localização da cidade. (b) Mapa da cidade de Primavera do Leste.

As amostras utilizadas no estudo foram retiradas na zona industrial da cidade, conforme a Figura 1. A cidade está localizada a uma latitude de $15^{\circ}33'32''$ Sul e a uma longitude de $54^{\circ}17'46''$ Oeste, estando a uma altitude de 636 metros. A tipologia climática da região é tropical, com uma precipitação média anual de 1.750 mm, sendo mais intensa nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média anual é de 22°C . A região apresenta, segundo Camargo (2011), uma formação pedológica de Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico e Área Quartzosa Ática. A amostra indeformada foi coletada utilizando caixas de madeira compensada com 15 mm de espessura, montadas em folhas e fixadas por parafusos, com dimensões internas de $32 \times 32 \times 32$ cm. O espaço interno da caixa permite a coleta da amostra em dimensões de 30 cm em cada aresta, com uma sobra de 1 cm em cada lado preenchida com parafina. A caixa é forrada internamente com papel alumínio fixado com parafina derretida para evitar a penetração da parafina no solo poroso e fornecer isolamento térmico.

Após a coleta, o bloco é revestido nas laterais e no topo com papel alumínio e envolto cuidadosamente com um pano ou faixa médica. Em seguida, a caixa é colocada ao redor do bloco, mantendo espaços internos entre o solo e a caixa entre 4 mm e 12 mm, e nivelada com um nível de bolha antes de ser pressionada na base para enrijecer e evitar a perda de parafina líquida. A parafina líquida é então despejada nos espaços vazios entre a caixa e o bloco, cobrindo-o completamente. Após a secagem da parafina, a base é escavada para o tombamento do bloco, e a amostra é escarificada e fechada com papel alumínio, gases e parafina líquida. Após o resfriamento completo, a caixa é fechada com parafusos.

Este processo, embora demorado, requer cuidado e paciência do operador em todos os estágios. Durante o estudo dos solos de Primavera do Leste, foram realizados ensaios geotécnicos fundamentais para a caracterização dos solos no laboratório de solos do Instituto Federal de Mato Grosso – Campus Cuiabá. Os ensaios incluíram a determinação do limite de liquidez (ABNT NBR 7180, 2016a), limite de plasticidade (ABNT NBR 6459, 2016b), análise granulométrica (ABNT NBR 7181, 2016c), e ensaio de compactação (ABNT NBR 7182, 2016d). Posteriormente, foram realizados os ensaios de compressão edométrica (ABNT MB-3336, 2016e), ensaio de cisalhamento direto (ASTM D 3080, 2020), consolidado não drenado (CU) (ASTM D2850, 2023) e não consolidado, não drenado (UU) (ASTM D4767, 2020) utilizando amostras indeformadas e compactadas no teor ótimo para uma análise comparativa.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios determinaram que o limite de liquidez obtido pelo ensaio foi de 33,25%, e o limite de plasticidade (LP) foi de 18,89%. Logo, concluímos que o índice de plasticidade (IP) é de 14,36%. Pela Carta de Casagrande ou Carta de Plasticidade, podemos classificar o solo como CL, ou seja, uma argila de baixa compressibilidade. O índice de Consistência, no cálculo, variou entre 0,75 e 1, o que classifica o solo como de consistência rija. No ensaio de sedimentação, foram aplicados dois procedimentos: um com defloculante (hexametáfosfato de sódio) e outro sem o defloculante, para fazer uma comparação, gerando o gráfico apresentado na Figura 02. A amostra sem defloculante apresentou um resultado de 5% de área média, 80% de areia fina, 1,5% de silte e 13,5% de argila. Já na amostra com defloculante, obteve-se 5% de área média, 69% de areia fina, 2% de silte e 24% de argila. Observa-se que na amostra sem defloculante, a porcentagem de areia fina é 11% maior, sugerindo a possibilidade de uma ligação entre a areia e a argila, o que é condizente com a estrutura de solo colapsível.

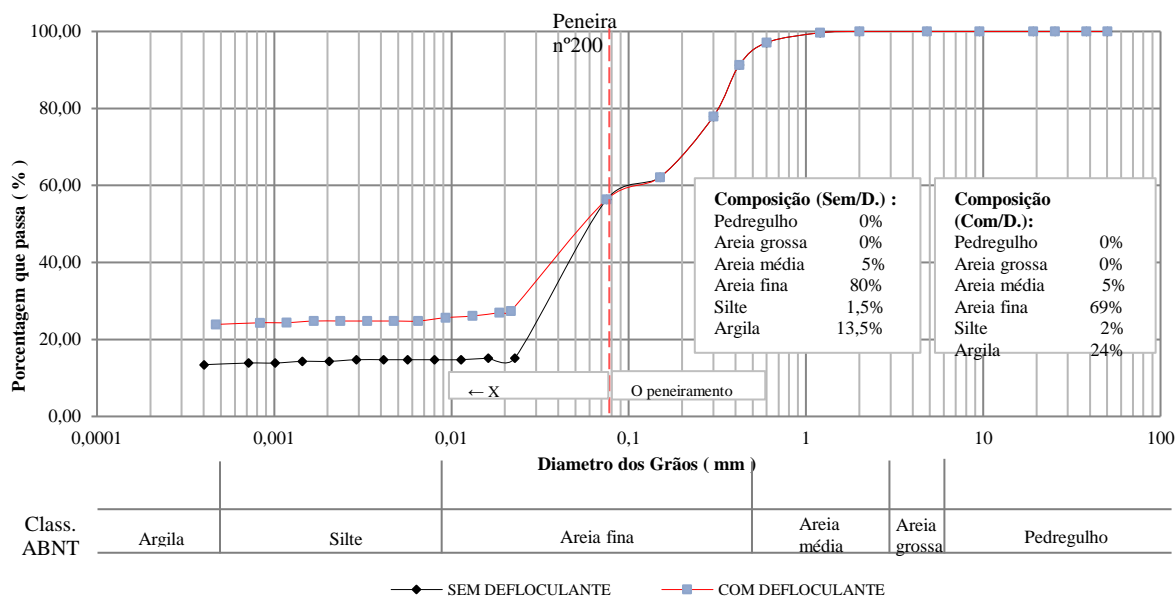


Figura 2. – Gráfico da curva granulométrica.

Assim, de acordo com o gráfico, o solo foi classificado como uma Areia Fina Argilosa. O índice de atividade resultou em 0,59, indicando que a argila presente é considerada inativa, portanto, não influencia o comportamento do solo. No ensaio para obtenção do peso específico dos grãos de solo, utilizando o picnômetro, obteve-se o resultado de 2,65 g/cm³. O ensaio de pH indicou que o solo é alcalino, com um pH de 7,75 em solução de água e 7,68 em Cloreto de Potássio. Os resultados e cálculos dos parâmetros físicos do solo de Primavera estão resumidos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo dos Índices Físico

Limite de Liquidez (LL)	33,25	%
Limite de Plasticidade (LP)	18,89	%
Índice de plasticidade (IP)	14,36	
Índice de Consistência (IC)	0,96	
Índice de atividade (IA)	0,59	
Massa específica (ps)	2,65	g/cm ³
Umidade Natural	19,34	(%)
pH do solo em Solução em água	7,75	
pH do solo em solução em cloreto em potássio	7,68	
Teor de umidade ótima de compactação	17,5	(%)
Densidade seca ótima de compactação	1,7	g/cm ³

No ensaio edométrico, foram testadas amostras tanto no estado natural quanto no estado saturado, com o objetivo de comparar o comportamento de colapso do solo, conforme mostrado na Figura 3. Observou-se que a deformação foi maior para a amostra no estado natural do que para a saturada. Além disso, notou-se que os maiores recalques ocorreram quando a amostra estava submetida a uma tensão superior a 100 kPa. Isso pode ser explicado pelo fato de que a saturação ajuda na resistência de suporte de cargas. Na amostra indeformada, com um índice de vazios inicial de 1,61 e uma variação de vazios de 0,31, o potencial de colapsividade foi calculado resultando em 11,92%, considerado um problema grave.

Também foram realizados ensaios edométricos no estado compactado do solo, para comparação com a amostra no estado indeformado e verificar os índices de compressão e recompressão. Na amostra no estado compactado, observou-se uma deformação volumétrica reduzida.

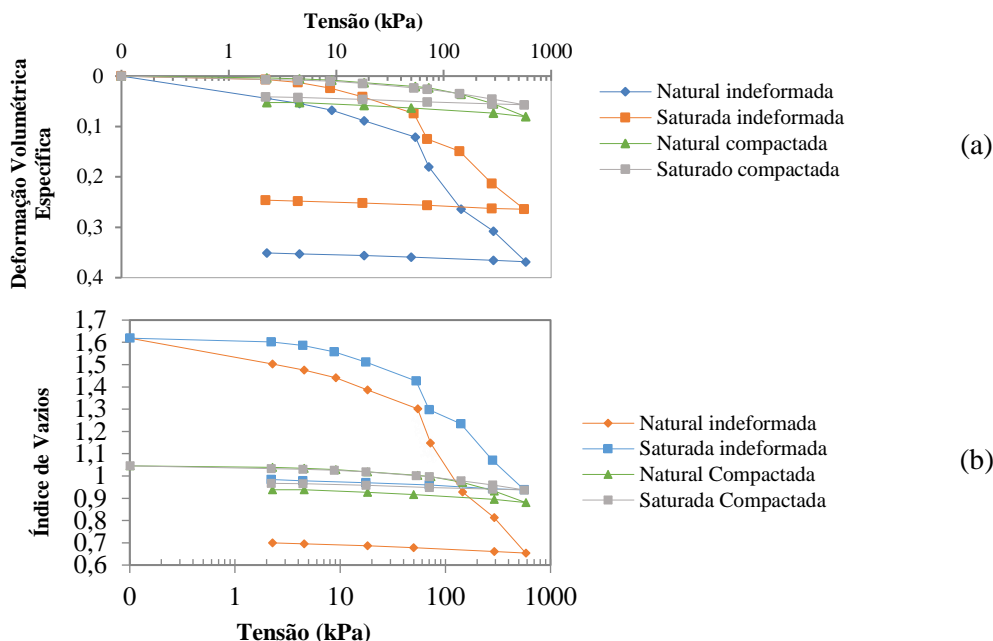


Figura 3. (a) Gráfico de Deformação Específica por Tensão com Amostras Indeformada e Compactada. (b) Gráfico de Índice de Vazios por Tensão com Amostras Indeformada e Compactada.

Os dados calculados a partir do ensaio edométrico duplo, com as amostras indeformada e compactada, foram resumidos de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo do ensaio edométrico

Amostra	Estado natural		Estado saturado	
Indeformada	Índice de Compressão	0,5461	Índice de Compressão	0,3975
	Índice de Recompressão	0,0192	Índice de Recompressão	0,0189
	Tensão de pré-adensamento	37 kPa	Tensão de pré-adensamento	40 kPa
	Potencial de colapsividade		11,92%	
Compactada	Índice de Compressão	0,1509	Índice de Compressão	0,0654
	Índice de Recompressão	0,0240	Índice de Recompressão	0,0122
	Tensão de pré-adensamento	93kPa	Tensão de pré-adensamento	31kPa
	Potencial de colapsividade		0%	

Percebe-se que, com esses cálculos, a amostra indeformada apresentou uma maior variação de vazios e seus índices de recompressão são muito baixos, semelhantes aos da amostra compactada. Por outro lado, no estado compactado, não houve uma grande variação de vazios, resultando em um potencial de colapsividade de 0%. Isso indica uma mudança significativa, reduzindo o valor de 11,92% da amostra indeformada para 0% na compactada, refletindo uma diminuição da gravidade alta para leve em termos de potencial de colapsividade. Também foram realizados ensaios de resistência para avaliar a melhoria do solo pela compactação, utilizando ensaios de cisalhamento direto e triaxiais. Na Figura 4 do ensaio de cisalhamento direto, observam-se variações significativas nas tensões de ruptura das amostras de solo, dependendo das condições de umidade e compactação. Na amostra indeformada no estado natural, com umidade de 19%, as tensões de ruptura foram de 40,81 kPa e 230,32 kPa para tensões confinantes de 50 kPa e 100 kPa, respectivamente. Quando saturada, as tensões de ruptura diminuíram consideravelmente, sendo de 15,28 kPa, 74,22 kPa e 251,41 kPa para as tensões confinantes de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, respectivamente. Na amostra compactada no teor ótimo, as tensões de ruptura foram mais elevadas em comparação com a amostra indeformada no estado natural, registrando 63,40 kPa e 75,40 kPa para tensões confinantes de 50 kPa e 200 kPa, respectivamente. No estado saturado, as tensões de ruptura foram de 45,80 kPa e 98,07 kPa para as tensões confinantes de 50 kPa e 100 kPa.

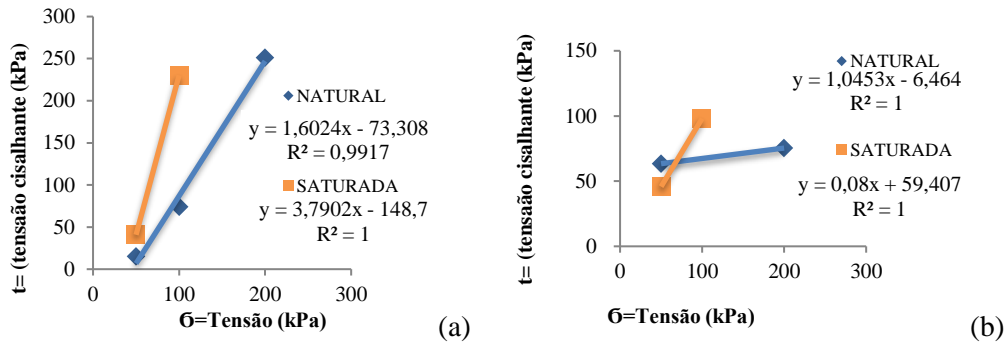
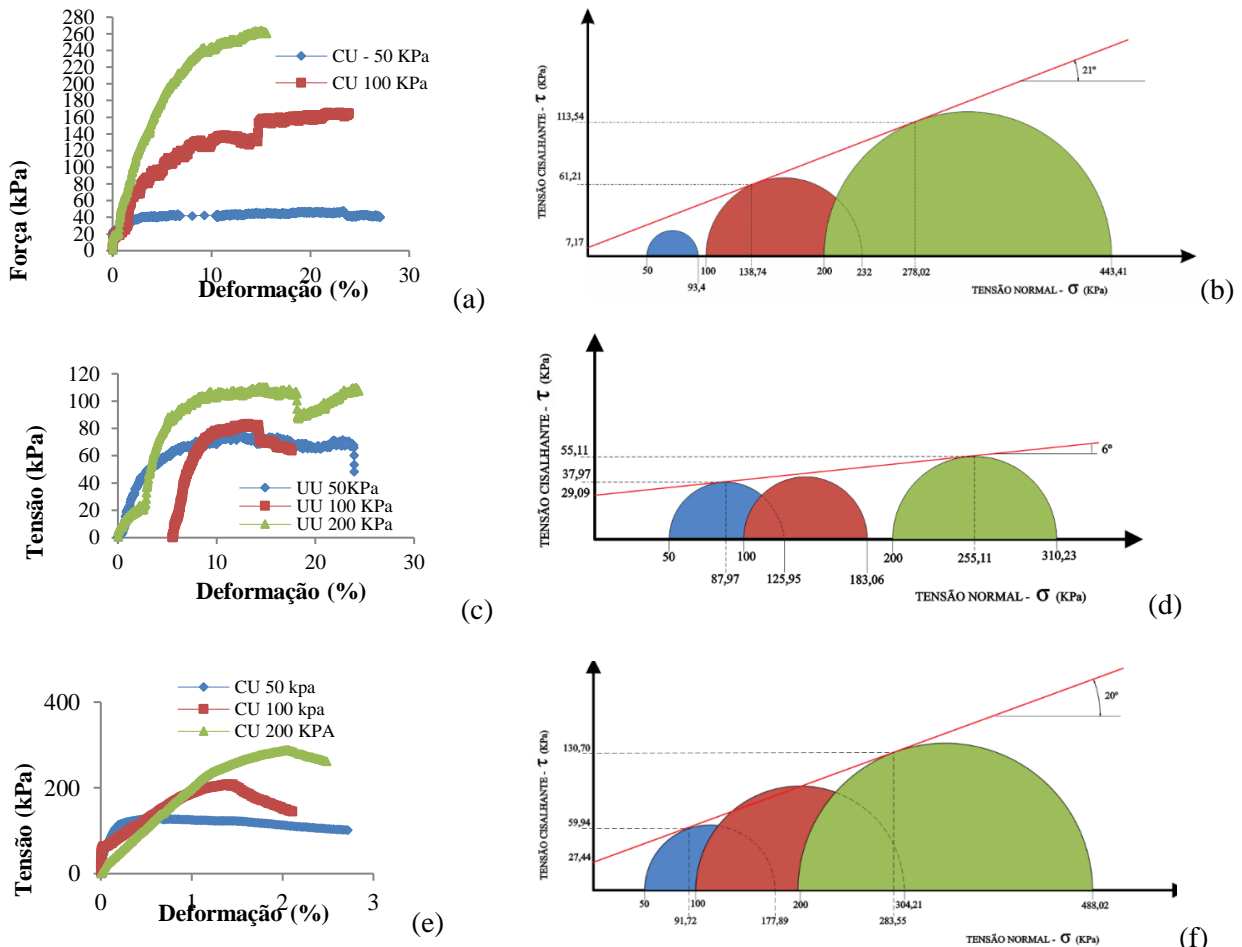


Figura 4. (a) Gráfico de Tensão (KPa) por tensão cisalhante em (KPa) amostra indeformada. (b) Gráfico de Tensão (KPa) por tensão cisalhante em (KPa) amostra Compactada.

Os resultados do ensaio triaxial, apresentados na Figura 5, mostraram a variação das tensões em relação à deformação para o ensaio tipo CU na amostra indeformada, permitindo a construção da envoltória de resistência pelo critério de Mohr-Coulomb. As tensões cisalhantes (desviadoras) de pico para o ensaio tipo CU, com tensões confinantes de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, foram de 43,4 kPa, 132 kPa e 243,41 kPa, respectivamente. Com base no gráfico de Mohr e na linha de Coulomb, foi calculado um ângulo de atrito do solo de 21° e um intercepto de coesão de 7,17. No ensaio UU com a amostra indeformada, as tensões cisalhantes de pico foram de 75,95 kPa, 133,06 kPa e 260,23 kPa, resultando em um ângulo de atrito do solo de 6° e um intercepto de coesão de 29,09. Na amostra compactada tipo CU, as tensões cisalhantes de pico foram de 127,89 kPa, 254,21 kPa e 388,02 kPa, respectivamente, resultando em um ângulo de atrito de 20° e um intercepto de coesão de 27,44. Finalmente, na amostra compactada tipo UU, as tensões cisalhantes de pico foram de 88,67 kPa, 204,47 kPa e 318,58 kPa, resultando em um ângulo de atrito de 17° e um intercepto de coesão de 16,95.



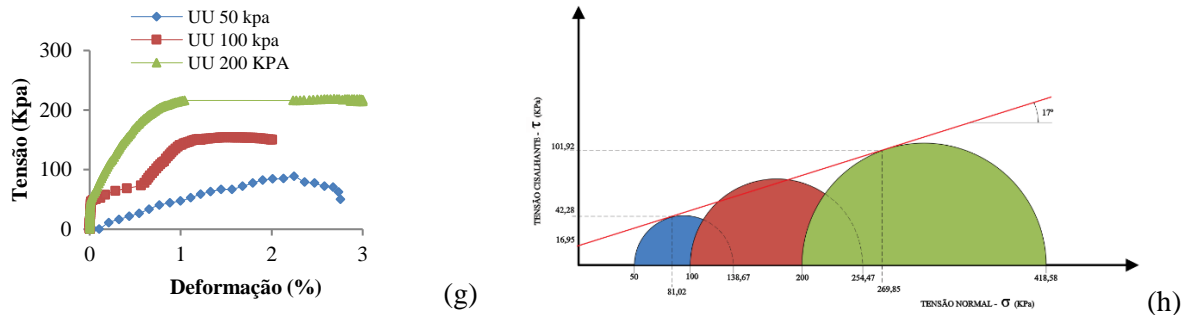


Figura 5. (a) - Gráfico de Tensão (kPa) por deformação do ensaio CU com amostra indeformada. (b) Círculo de Mohr do ensaio CU com amostra indeformada. (c) Gráfico de Tensão (kPa) por deformação do ensaio UU com amostra indeformada. (d) Círculo de Mohr da amostra indeformada. (e) Gráfico de Tensão (kPa) por deformação do ensaio CU com amostra compactada. (f) Círculo de Mohr do ensaio CU com amostra compactada. (g) Gráfico de Tensão (kPa) por deformação do ensaio UU com amostra compactada. (h) Círculo de Mohr do ensaio UU com amostra compactada.

Nos ensaios de resistência de cisalhamento direto, a amostra indeformada apresentou tensões cisalhantes maiores em relação à compactada, exceto na tensão de 50 kPa, onde os valores foram superiores apenas na amostra compactada. Os ensaios Triaxial mostraram que as amostras tiveram as maiores tensões de ruptura no tipo CU, devido à consolidação inicial do ensaio, resultando em maiores ângulos de atrito. O aumento no ângulo de atrito da amostra indeformada para a compactada foi de 6° no tipo UU para 17° . Já no ensaio tipo CU, não houve uma mudança significativa no ângulo de atrito, mas houve um aumento significativo no intercepto de coesão, de 7,17 na amostra indeformada para 27,44 na compactada.

5 CONCLUSÃO

Com base nos ensaios realizados, o solo demonstrou características de Argila de Baixa Compressibilidade (CL) devido aos valores obtidos nos limites de liquidez e plasticidade. A análise granulométrica indicou uma composição predominantemente de areia fina com presença significativa de argila, classificando a amostra como areia fina argilosa. Esse tipo de solo também foi identificado por Ferreira et al. (2003) em um caso real de danos causados por solos colapsíveis na cidade de Bauru, em São Paulo. A análise revela uma baixa presença de silte na distribuição granulométrica, representando apenas 2% do total. O índice de atividade calculado foi de 0,59, indicando que a argila é inativa e não influencia o comportamento do solo. No ensaio de compactação, a umidade ótima determinada foi de 17,5%. Os ensaios edométricos indicaram uma redução nos índices de vazios e revelaram um potencial de colapso elevado na amostra indeformada, com um valor de 11,92%, indicando uma suscetibilidade preocupante ao colapso, conforme Mariz (1993). Em contraste, na amostra compactada, observou-se uma redução mínima de volume durante os ensaios. No ensaio de cisalhamento direto, foram obtidas tensões de ruptura variadas para diferentes condições de umidade e tensões confinantes. As amostras indeformadas apresentaram tensões de ruptura mais altas no estado natural do que as amostras saturadas. Para as amostras compactadas na umidade ótima, as tensões de ruptura também foram significativamente superior, demonstrando uma maior resistência ao cisalhamento. Nos ensaios triaxiais, comparando as amostras indeformada e compactada, observou-se um aumento na resistência ao cisalhamento, evidenciado pelos valores de coesão e ângulo de atrito. A relação entre areia e argila na granulometria foi crucial para a classificação do solo como areia fina argilosa, destacando a importância da análise granulométrica em conjunto com outros ensaios para uma caracterização precisa do comportamento do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas (2016a). NBR 7180- Método de ensaio – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2016b). NBR 6459. *Determinação do limite de plasticidade de solos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016c). NBR 7181. *Solo - Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2016d). NBR 7182. *Solo -Ensaio de compactação*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016e). MB-3336. Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2020). ASTM D380: *Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions*.
- ASTM International (2023). ASTM D4767: *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soil*.
- ASTM International (2020). ASTM D2850: *Standard test method for unconsolidated, undrained compressive strength of cohesive soils in triaxial compression*.
- Barbosa, Michele Cristina Rufino; Lima, Hernani Mota de; Pereira, Aloisio Rodrigues. (2010). Um Estudo do Aumento da Resistência ao Cisalhamento em Solos Revegetados com Vetiver. Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e o Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Dalla Rosa Barbosa, F. M., Moreira de Souza, N., Brasil Cavalcante, A. L., Conciani, W., & Barbosa, J. A. (2022). Caracterização da Área de Estudo em Solos Lateríticos para Implantação de Estacas Executadas no Método Mistura Profunda (DMM) – Ensaio de Campo. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Campinas, SP.
- Benatti, Julio César Beltrame. (2010). Colapsividade com sucção controlada de um solo coluvionar e laterítico de Campinas/SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Camargo, Lígia. (2011). Atlas de Mato Grosso: Abordagem Socioeconômico-ecológica. Editora Entrelinhas, 100 p. Cuiabá-MT.
- Chagas, Gleiber da Silva. (2014). Estudo Experimental do Comportamento Mecânico de Estrato Silto-Argiloso (Massapê) para Fundações Superficiais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.
- Ferreira, Cláudio Vidrih. Lobo, Ademar da Silva. Renofio, Adilson. Albiero, José Henrique. (2003). Danos em Edificações Provenientes de Patologias de Fundações, Implantadas em Solos Colapsíveis. IBAPE - XII COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Belo Horizonte, MG
- Freitas Neto, Osvaldo. (2008) Resistência ao cisalhamento de um solo não saturado com medida direta de sucção. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo
- Gomes, Ribamar de Jesus. (2006). Estudo Geotécnico de um Solo Superficial da Cidade de Bragança Paulista – SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Mariz, D. Faria. (1993) Um Estudo Físico-Químico Mecânico sobre o Colapso de Solos Residuais Sesquióxicos Micro-Agregados do Planalto Central. Dissertação Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro – RJ.
- Oliveira, A. L. G., Magalhães, S. L. M., Neto, O. F., Pasqualetto, A., & Bárrios, G. F. M. (2015). Urbanização de risco em frente de escarpa e encosta: caso de Primavera do Leste-MT. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional*, 3(2), 197-219. DOI: 10.7867/2317-5443.2015V3N2P197-219.
- Pinto, Carlos Sousa. (2006). Curso Básico de Mecânica dos Solos. 2ª edição. Oficina de Textos. São Paulo, SP.
- Ribeiro Jr, I e Futai, M. M. (2010). Estudo de Caso de um melhoramento de solos colapsíveis com compactação. In: COBRAMSEG: Gramado - RS. ABMS. 2010.