Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análise das propriedades mecânicas de um solo expansivo com vistas à autoconstrução de uma habitação social

M. González[1]*, M. Pérez[2]
* Autor de Contato: mgonzalez305@alumnos.uaq.mx
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.660

Recebido: 26/01/2023 | Correções recebidas: 25/08/2023 | Aceito: 31/08/2023 | Publicado: 01/09/2023

RESUMO

O presente artigo de pesquisa mostra uma análise dos solos expansivos do Residencial Santa Fe, na parte leste da cidade Santiago de Queretaro, México, com o fim de determinar o período do ano mais conveniente para o início da autoconstrução de uma moradia social. As propriedades mecânicas do solo (pressão de expansão, ângulo de atrito e coesão) são determinadas pelos testes geotécnicos, para conhecer os possíveis movimentos diferenciais do terreno e assim evitar as deficiências a curto prazo dessas casas em nosso país, obtendo que o período ideal para a construção seja outubro-março, caso contrário, no período abril-setembro é crítico, para o qual as fundações aumentam de custo.
Palavras-chave: autoconstrução; pressão de expansão; ângulo de atrito; coesão.

Citar como: González, M., Pérez, M. (2023), *"Análise das propriedades mecânicas de um solo expansivo com vistas à autoconstrução de uma habitação social"*, Revista ALCONPAT, 13 (2), pp. 312 – 327, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.660

[1] Secretaría Académica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.
[2] Estudiante de la Maestría en Ciencias línea terminal en Geotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.

Contribuição de cada autor
En el presente trabajo, el autor A contribuyó con la idea original (50%), experimentación, recolección de datos, escritura del trabajo (80%), discusión de resultados y conclusiones (70%). El autor B contribuyó en la idea original (50%), escritura del trabajo (20%) discusión de resultados y conclusiones (30%).

Licença Creative Commons
Copyright (2022) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 (CC BY 4.0).

Discussões e correções pós-publicação
Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2024, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2024.

© 2023 ALCONPAT Internacional

Analysis of the mechanical properties of an expansive soil for the self-construction of a social housing

ABSTRACT

This research article shows an analysis of an expansive soil of the Residencial Santa Fe, in the eastern part of the city of Santiago de Querétaro, Mexico, in order to determine the annual period in which it is more convenient to start the self-construction of a social housing. The mechanical properties of the soil (expansion pressure, friction angle and cohesion) are determined by geotechnical tests to find out the possible differential movements of the ground and thus avoid the short-term deficiencies that these houses suffer in our country, obtaining that the ideal period for the construction is October-March, otherwise, in the April-September period it is critical, for which the foundations increase in cost.

Keywords: self-construction; expansion pressure; friction angle; cohesion.

Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo expansivo para la autoconstrucción de una vivienda de interés social

RESUMEN

El presente artículo de investigación muestra un análisis de un suelo expansivo del Residencial Santa Fe, en la zona Este de la ciudad de Santiago de Querétaro, México, con el fin de determinar el periodo anual en el que es más conveniente el inicio de la autoconstrucción de una vivienda de interés social. Las propiedades mecánicas del suelo (presión de expansión, ángulo de fricción y cohesión) se determinan mediante pruebas geotécnicas para conocer los posibles movimientos diferenciales del terreno y así evitar las deficiencias a corto plazo que estas casas sufren en nuestro país, obteniendo que el lapso idóneo para la edificación es octubre-marzo, caso contrario, en el periodo abril-septiembre es crítico, por lo que los cimientos aumentan en costo.

Palabras clave: autoconstrucción; presión de expansión; ángulo de fricción; cohesión

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

No ensino de mecânica dos solos e engenharia geotécnica o solo é considerado seco ou saturado. Acredita-se também que o comportamento do solo só é controlado pelo princípio da tensão efetiva de Terzaghi. Na verdade, o estado seco e o estado saturado são apenas condições de contorno do solo (Flores et. al., 2019).

A Figura 1 representa como o lençol freático é o limite entre solo saturado e insaturado. Abaixo deste nível, a tensão efetiva (σ- u_w) é a que rege o comportamento do solo; enquanto, acima do lençol freático, há duas variáveis independentes a serem consideradas: a tensão total (σ- u_a) e a sucção matricial (u_a - u_w).

Onde:

- σ = esforço normal
- u_a = pressão do ar nos poros
- u_w = pressão da água nos poros

Figura 1. Visão geral da mecânica dos solos (Guerrero, 2013).

Os solos de Vertissolo têm a característica de reter grande quantidade de água, além disso, sua capacidade de troca catiônica faz com que tenham alta fertilidade natural. No México e no mundo são considerados um dos materiais mais produtivos para a agricultura (Torres et. al., 2016).

Geralmente seu teor de argila é uniforme e superior a 35%, embora em muitos casos ultrapasse 80%. Entre suas características estão a presença de fissuras, cor escura com textura fina e uniforme e baixo teor de matéria orgânica; embora sua propriedade mais importante do ponto de vista da mecânica dos solos seja a expansividade devido à presença da montmorilonita, que provoca expansões ou contrações devido à hidratação ou ressecamento de suas partículas, as variações de volume variam de 35 a 50%. Isto ocorre principalmente em áreas áridas e semiáridas (Torres et. al., 2016).

Na República Mexicana constatou-se que cerca de 25% do território possui vertissolo em sua superfície como solo principal ou como solo associado. Em segundo ou terceiro lugar, porém, considera-se que apenas metade desta percentagem corresponde a condições ambientais que favorecem o comportamento expansivo que tantos danos provoca na construção. A Figura 2 mostra

as regiões do território mexicano onde são abundantes os solos de vertissolo com o mineral montmorilonita como principal constituinte.

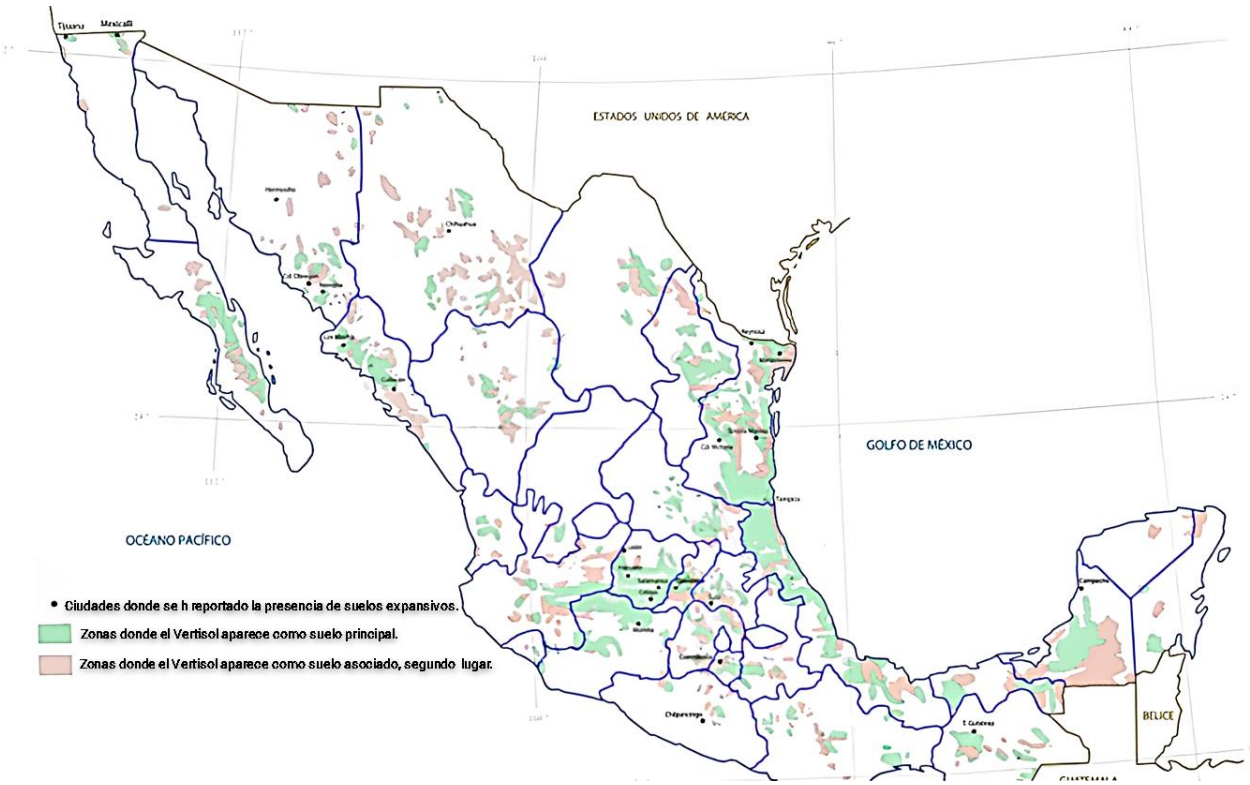

Figura 2. Zonas potenciais de solos expansivos na República Mexicana (Zepeda e Castañeda, 1989).

A cidade de Querétaro é constituída por quatro importantes zonas geotécnicas, conforme mostra a figura 3, que são: rochosa, encosta, transporte e vale; sendo esta última a planície da cidade e é onde se depositou a maior parte das argilas expansivas (Álvarez et. al., 2017).

Além disso, a metrópole está em uma área semiárida com lençol freático abaixo de oito metros de profundidade, isso significa que a diminuição do teor de água na superfície devido à evaporação, somada à perda de umidade por transpiração (evapotranspiração) é maior que o molhamento desta mesma superfície (precipitação) em um período de tempo anual e que por sua vez a sucção deve ser levada em consideração porque em construções pequenas e leves, os esforços exercidos pelas estruturas permanecem dentro da zona não saturada, que com alterações consideráveis no seu teor de água pode afetar as construções (López, 2014).

A sucção total refere-se à energia associada à capacidade do solo em reter água (Carrasco, 2017). Ridley (1993) definiu-a como a energia necessária para remover moléculas de água da matriz do solo por evaporação. A energia necessária para extrair água do solo, ou sucção total, possui dois componentes, um devido à ação capilar, denominado sucção matricial, e outro devido aos sais dissolvidos na água, denominado sucção osmótica. Os principais problemas geotécnicos associados aos solos não saturados estão relacionados com alterações ambientais que alteram principalmente a sucção matricial e, em menor grau, a sucção osmótica (Carrasco, 2017).

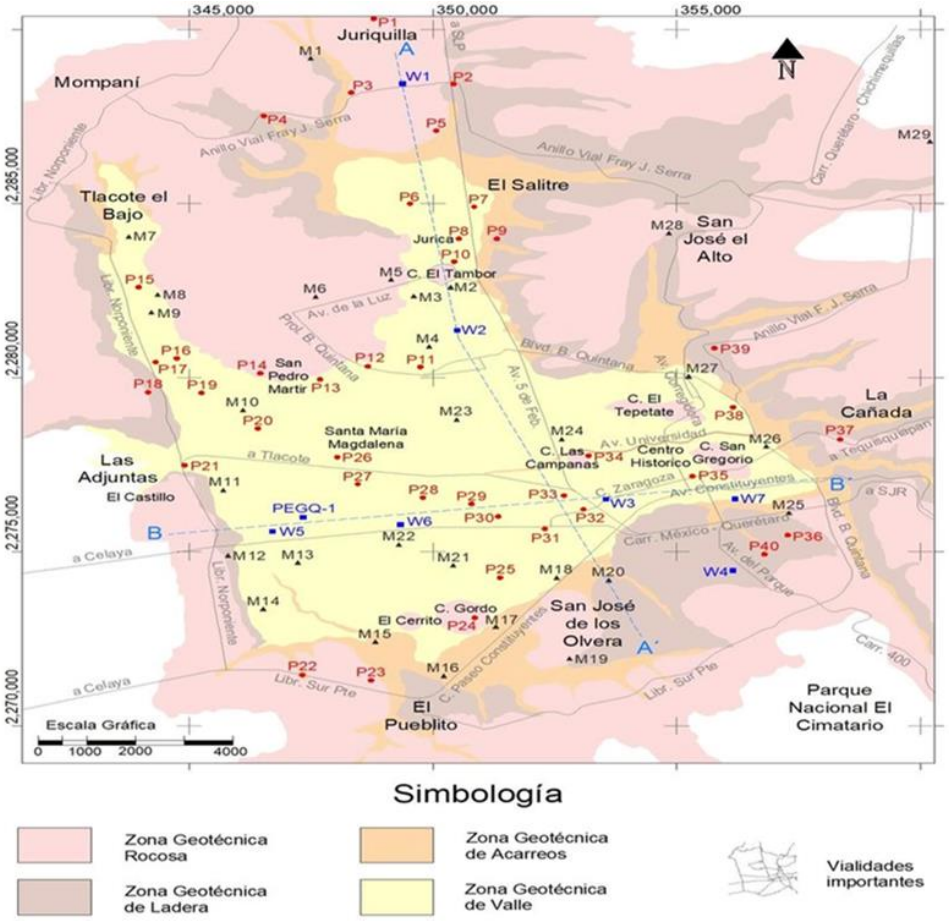

Figura 3. Zonas geotécnicas da cidade de Querétaro (Álvarez et. al., 2017).

Por outro lado, no México, a habitação social aumentou a sua procura, devido a vários fatores como: custos moderadamente acessíveis, conforto (pagamentos a longo prazo) e facilidade de obtenção. O problema desta situação é que não importa onde sejam construídos no país, o processo de construção é o mesmo, sem analisar previamente as características do subsolo onde estão localizados, acrescentando que os futuros colonos das propriedades não recebem planos ou estudos anteriores que apoiam a construção correta. Quando isso ocorre em um solo expansivo e em regiões onde o clima é semiárido, onde os períodos chuvosos e seco são claros, o terreno sofre importantes alterações de volume devido ao teor de água presente em sua estrutura, isso faz com que as casas unifamiliares tendem a apresentar deficiências no curto prazo, tais como: levantamento ou afundamento de pavimentos e fissuras em paredes e esquadrias.

Anteriormente, a população só podia ser credora de uma casa nova ou usada com crédito hipotecário, mas atualmente existe uma reforma em que pode construir a sua própria habitação social sem intermediários, onde o que se exige é o seguinte:

- Características do terreno: possuir escritura pública registrada no serviço público, que o imóvel esteja em seu nome ou de seu cônjuge, possuir serviços essenciais, estar localizado em área livre de risco de acordo com a regulamentação local e possuir uso residencial terra.
- Planejamento de construção: a construção deverá ter no mínimo quarto, sala, cozinha e banheiro; incluem ecotecnologias e devem ser executados por técnico credenciado (arquiteto, engenheiro, mestre pedreiro) perante a entidade de serviço social que o atende.
- Despesas adicionais: elaboração de projeto executivo, licença de construção, avaliação e parecer técnico.

Com isso, o objetivo deste trabalho é apresentar uma forma simples que ajude o cidadão a tomar a melhor decisão para iniciar a autoconstrução de sua casa, descobrindo qual mês do ano é o mais viável devido às possíveis alterações volumétricas que isso acarreta. poderia ter o terreno onde sua casa foi construída.

2. PROCEDIMENTO

2.1 Metodologias experimentais

A metodologia implementada foi a tradicional que se executa num relatório geotécnico: determinação da localização das obras e do tipo de exploração realizada, ensaios laboratoriais, resultados e conclusões.

2.1.1 Área de pesquisa

A área estudada foi a parte oriental da cidade de Querétaro, especificamente o Residencial Santa Fé, verificando-se que faz parte do vale do território de Querétaro e de onde foi obtida uma argila preta a 1,5 metros de profundidade.

A Figura 4 mostra exatamente o local da coleta da amostra, onde o material alterado e inalterado foi obtido através da exploração a céu aberto (PCA).

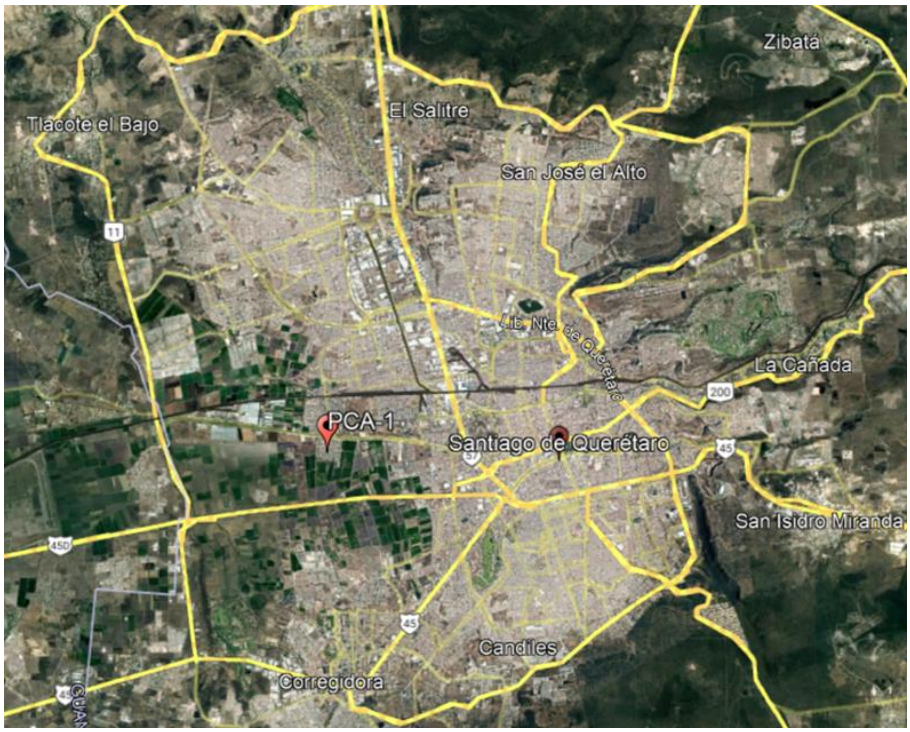

Figura 4. Esboço do local da pesquisa na cidade de Querétaro.

PCA-1 2277086,00 m N, 349166,00 m E

2.1.2 Testes laboratoriais

Os testes laboratoriais de mecânica dos solos são testes realizados para determinar as propriedades mecânicas do solo como parte dos métodos de identificação do solo. Os solos podem ser caracterizados e classificados pelos procedimentos aos quais são submetidos em ensaios laboratoriais.

2.1.3 Precipitação anual

A Comissão Nacional de Águas (CONAGUA) emite anualmente dados reais de precipitação por Entidade Federal e Nacional. Para este trabalho de pesquisa, os dados obtidos para o estado de Querétaro são apresentados na Tabela 1. Os valores informados pela CONAGUA, comparados com dados de diferentes pesquisas anteriores realizadas no loteamento Santa Fé da cidade de Querétaro, podem apoiar, tendo em conta outro aspecto como a variação volumétrica, em conclusões que permitem determinar qual o período mais adequado para a realização da autoconstrução.

Tabela 1. Dados de precipitação média anual (mm) para a Entidade de Querétaro (Conágua, 2022).

Precipitação (mm) por Entidade Federal e Nacional 2022													
Entidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Querétaro	3.8	5.8	0,7	19.1	4.7	47,8	57.1	67,1	98,3	40,3	22.4	7.7	374,6

2.2 Técnicas experimentais

As técnicas experimentais referem-se, para efeitos deste trabalho, a todos os testes laboratoriais realizados para obtenção dos resultados. Cada um deles possui suas normas mais atuais de confiabilidade na análise dos dados obtidos.

2.2.1 Caracterização de um solo expansivo

O índice de plasticidade, área superficial específica e atividade são alguns parâmetros que ajudam a saber se um solo é potencialmente expansivo; para isso serão necessários os ensaios de limite de Atterberg com a norma ASTM D 4318-2010, o ensaio de azul de metileno com a norma C837-2019 e a granulometria por hidrômetro com a norma ASTM D422-2007, para obter os valores de cada conceito respectivamente. De acordo com Nelson e cols. para o. (2015), os valores apresentados na Tabela 2 são faixas que podem ser utilizadas para considerar que o material apresentará variações volumétricas consideráveis.

Tabela 2. Propriedades de um solo potencialmente expansivo.

Índice de plasticidade (%)	20-55
Área superficial específica (m^2/g)	600-800
Atividade	>1,5

2.2.2 Curva característica de sucção do solo

A relação entre o teor de água no solo e a sucção é determinada pela curva característica da água no solo (SWCC). Essa relação também é conhecida na ciência do solo como curva de retenção de água. O conceito e a interpretação do SWCC são fundamentais para a compreensão da mecânica de solos parcialmente saturados. Portanto, poucos estudos têm se concentrado em encontrar a relação entre o SWCC do solo e suas propriedades físicas e mecânicas (Casanova, 2018; Yáñez *et al.*, 2015).

O ensaio para determinação do potencial de sucção está na norma ASTM D 5298-2010, que consiste na obtenção de dez amostras inalteradas de aproximadamente cinco centímetros cúbicos, que serão levadas a diferentes teores de água. A umidade na amostra de solo subirá em direção aos papéis de filtro em contato com ela. O papel será calibrado para estabelecer uma relação entre sua umidade e o nível de sucção nos poros do solo.

É feita uma calibração do papel filtro utilizado com diferentes soluções de água destilada e cloreto de sódio para avaliar a umidade relativa da água.
Uma vez calibrado o papel, as amostras são colocadas em recipientes diferentes com dois papéis de filtro em cima. Em cima deles é colocado um material hermético seguido de outro papel. Feito isso, o frasco é fechado e deixado em repouso por sete dias.
Após sete dias, serão pesados os papéis que estiverem em contato com o material, processo que não deve durar mais de 4 segundos para evitar que os papéis percam umidade.
O papel de filtro superior representa a sucção matricial enquanto o inferior representa a sucção osmótica, somando os dois obtém-se a sucção total, que é obtida pelas gramaturas dos papéis e sua calibração.
Cada solo possui um SWCC diferente. Além disso, os solos apresentam "histerese" que se deve ao fato dos processos de hidratação e secagem dependerem do formato dos poros. Isto faz com que a forma e a posição das trajetórias de secagem e umedecimento não sejam as mesmas.
A Figura 5 mostra as partes do SWCC.

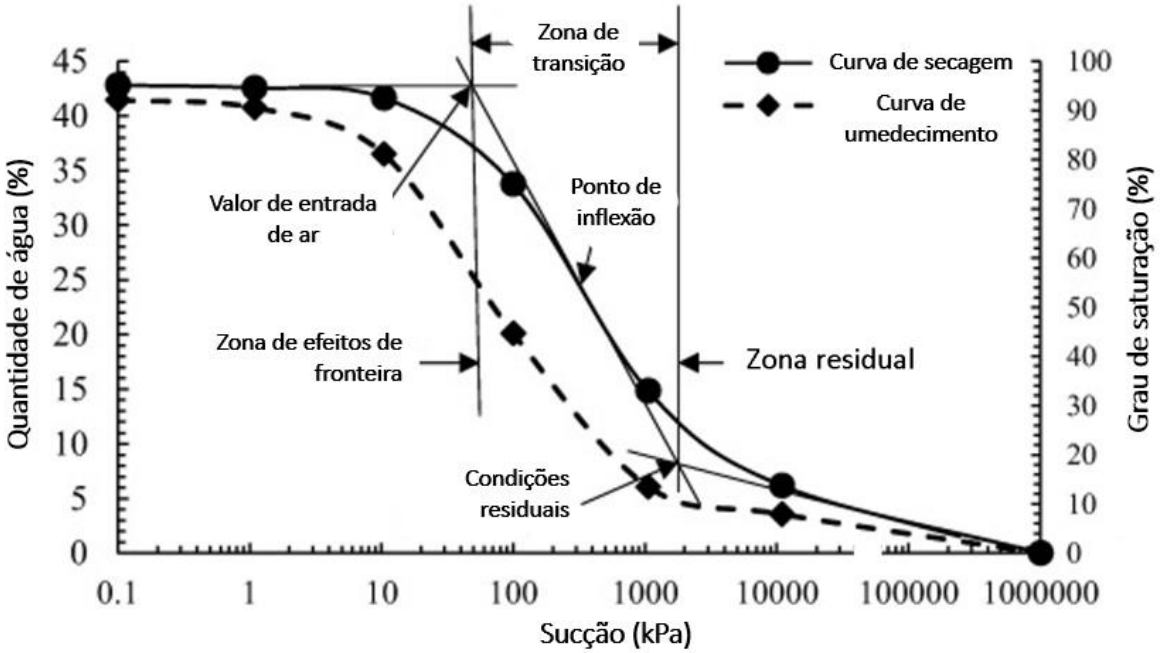

Figura 5. Curva característica típica de um solo (Musso e Suazo, 2019).

2.2.3 Propriedades mecânicas de um solo

As propriedades mecânicas mais importantes de um solo são aquelas que nos permitem estabelecer leis de resistência e comportamento, como a coesão, o ângulo de atrito interno e a sua capacidade expansiva.

- Coesão: união entre as partículas do solo devido à força de atração das moléculas.
- Ângulo de atrito interno: parâmetro necessário para obter a resistência ao cisalhamento de um solo.
- Expansão: alteração no volume do solo em decorrência de carga e saturação.

Para determinar essas propriedades do solo, o ensaio CD triaxial (consolidado drenado) é ideal para obter resultados confiáveis, pois permite que a drenagem fique livre durante o tempo de ensaio, fazendo com que a amostra se consolide devido aos diferentes estados do solo, garantindo assim que as tensões efetivas são aquelas que estão se desenvolvendo na amostra de solo testada.
Para este ensaio, o procedimento a ser utilizado é o descrito na norma ASTM D 7181-20, que

menciona que devem ser corpos de prova inalterados, que devem ser colocados na câmara triaxial e previamente consolidados antes da aplicação da carga. O resultado típico de um teste triaxial CD é mostrado na Figura 7.

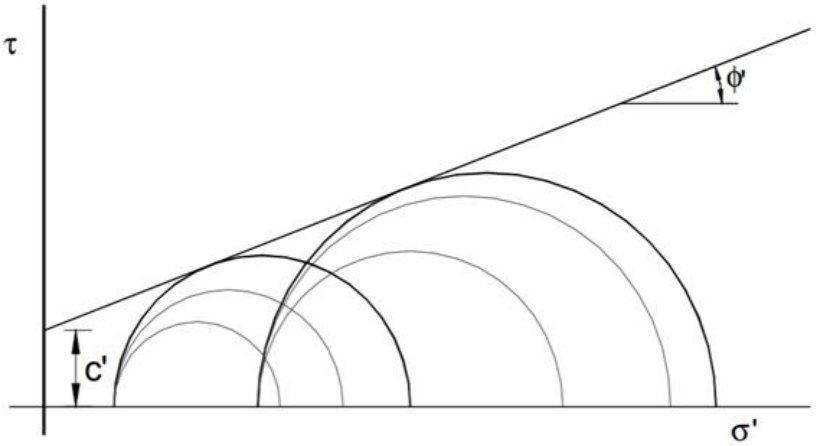

Figura 7. Resultado do teste triaxial de CD (consolidado drenado).

Além disso, o teste de expansão é baseado no método B ASTM D 4546-2008, que envolve a colocação de uma amostra inalterada dentro de um anel de consolidação em um hodômetro. É aplicada uma carga inicial igual à *in situ* e saturada para permitir a expansão do solo. O ensaio consiste em carregar vários intervalos de carga até definir o trecho reto da curva de compressibilidade e depois descarregar o corpo de prova da mesma forma durante um período de 72 horas para que finalmente possa ser observado o inchamento da amostra para obter a mudança de volume, bem como o valor da pressão de expansão.

3. RESULTADOS

O solo estudado apresentou nos ensaios de caracterização; limite de liquidez de 73,0%, limite de plástico de 32,4%, então o índice de plástico é de 40,6%; uma superfície específica de 784,69 m^2/g e uma atividade de 1,5. Pode-se presumir a presença de um solo expansivo, além disso, devido aos seus limites de Atterberg, a descrição do material é uma argila de alta compressibilidade (CH) na tabela de plasticidade.

Para os resultados de sucção do solo, as figuras 8 e 9 apresentam os valores de sucção total e sucção matricial respectivamente onde pode-se observar que, quanto maior o valor de sucção, menor o teor de umidade no corpo de prova e vice-versa. Quanto maior a umidade, menor a sucção.

O solo analisado, com peso volumétrico de 1,69 g/cm^3, densidade relativa de 2,75 e umidade natural de 28%, resulta em grau de saturação de 70%; que é expresso como uma sucção matricial de 200 kPa e uma sucção total de 400 kPa.

Nos ensaios triaxiais CD foram realizadas três séries com diferentes umidades, cada série é composta por três corpos de prova aos quais foram aplicados diferentes valores de pressão confinante.

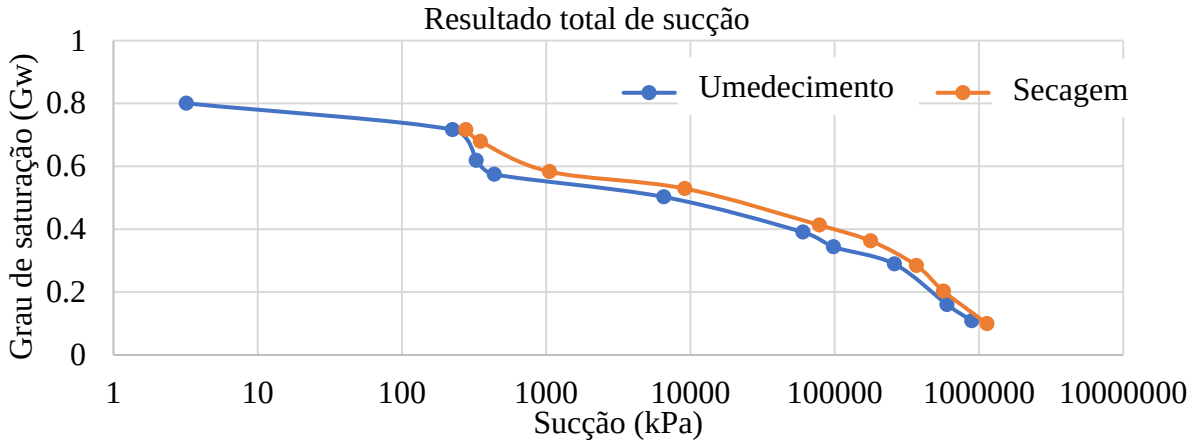

Figura 8. Sucção total do solo estudado.

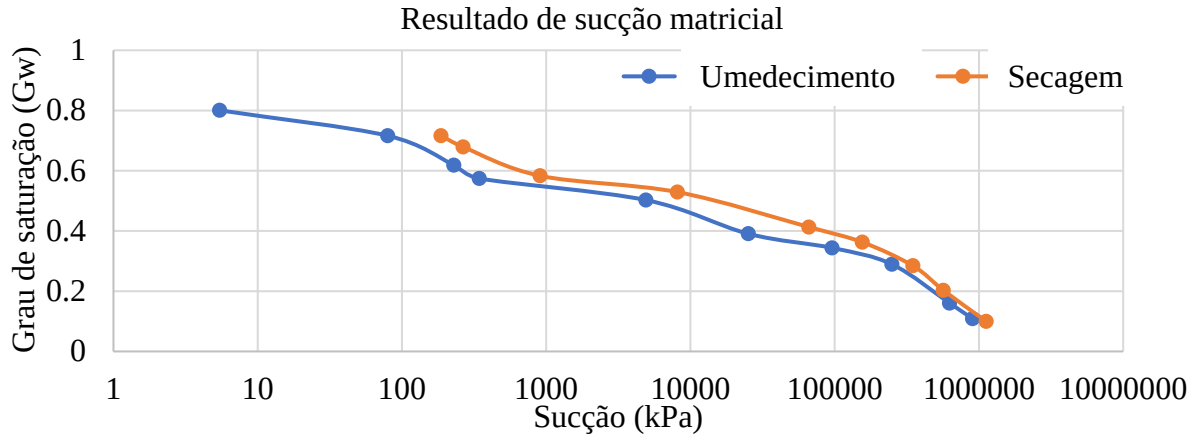

Figura 9. Sucção matricial do solo estudado.

O valor da pressão confinante é devido ao coeficiente de pressão "in *situ*" da terra em repouso desenvolvido por Massarsch (1979).

$$k_0 = 0.44 + 0.0042 I_p (1)$$

onde I_p refere-se ao índice de plasticidade, com o valor atual o coeficiente dá um valor de 0,44, portanto será utilizado um valor de k_0 =0,5, conforme Massarsch.
A tensão vertical é determinada pelo peso específico do solo (1,69 g/cm^3) e pela profundidade em que a amostra foi obtida (1,6m).
A tensão horizontal, que é a tensão confinante, é obtida pela tensão vertical vezes o coeficiente de pressão em repouso.
Uma vez obtido este valor, obtém-se um valor inferior e um valor superior para ter três tensões de confinamento diferentes (0,68 g/cm^2, 1,35 g/cm^2 e 2,7 g/cm^2) e poder obter os valores do ângulo de atrito e coesão no solo usando um gráfico de Mohr.
Os resultados dos testes triaxiais são mostrados abaixo nas Figuras 10, 11 e 12.

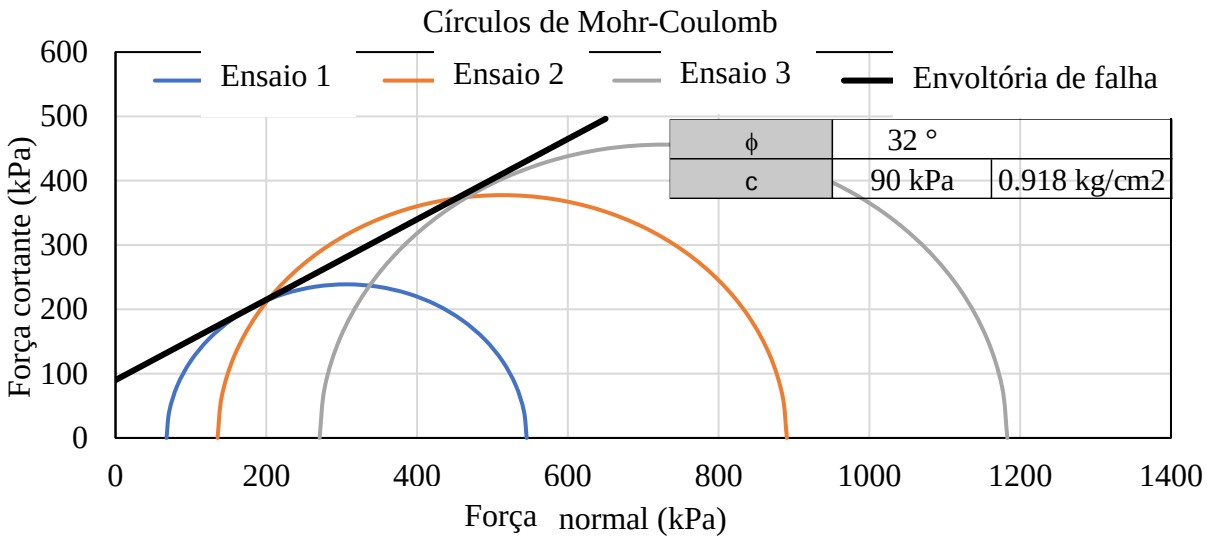

Figura 10. Valores de ângulo de atrito e coesão com 13% de umidade.

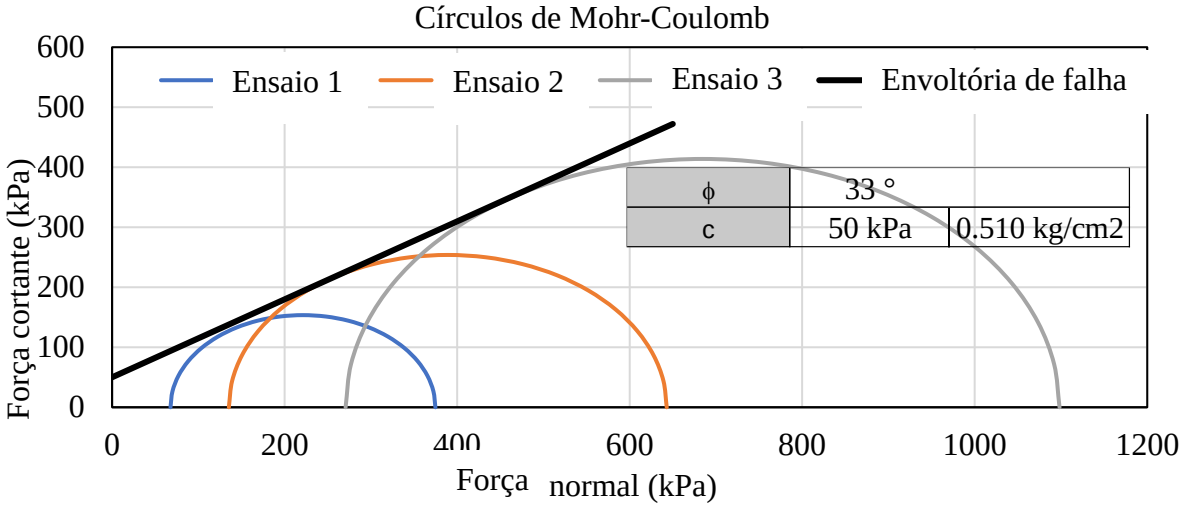

Figura 11. Valores de ângulo de atrito e coesão com 28% de umidade.

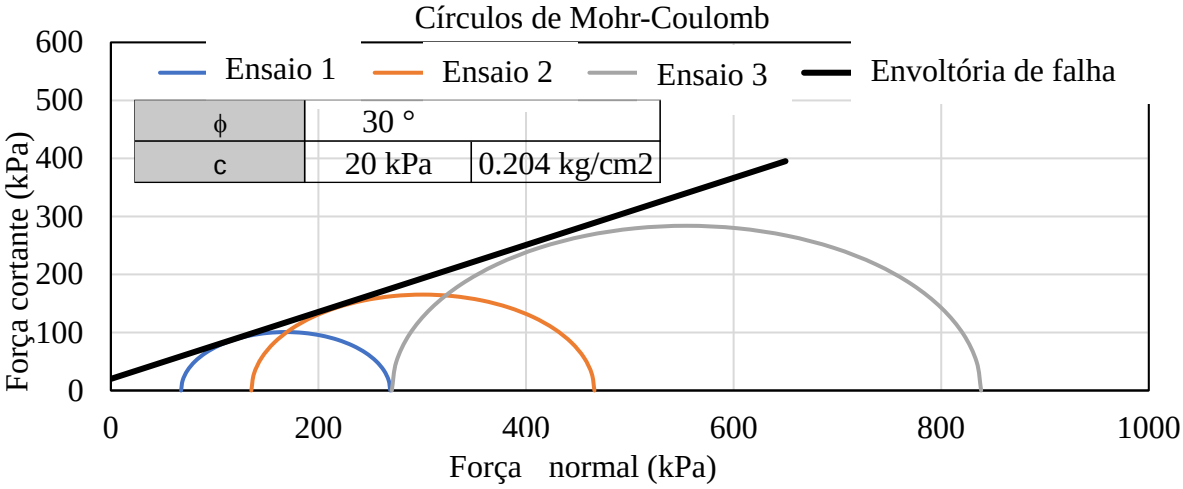

Figura 12. Valores de ângulo de atrito e coesão com umidade de 43%.

Os resultados dos testes de expansão são apresentados a seguir nas figuras 13, 14 e 15; que foram obtidos por meio de uma técnica denominada hodômetro triplo, procedimento que atende à norma ASTM D4546-2008.

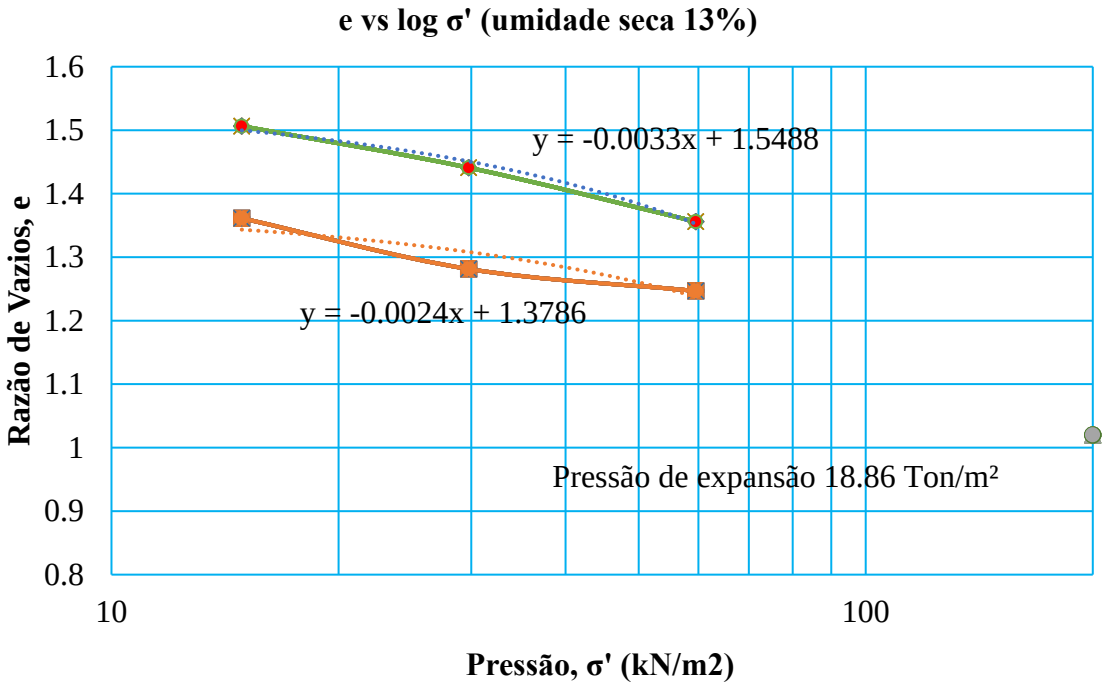

Figura 13. Pressão de expansão do solo com 13% de umidade.

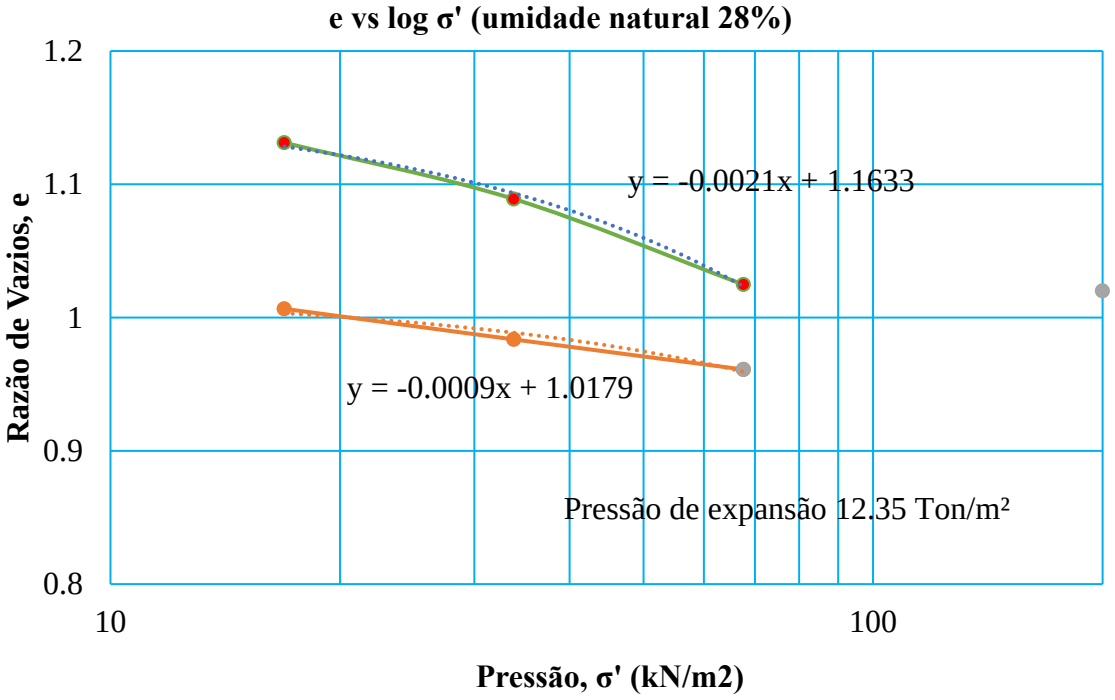

Figura 14. Pressão de expansão do solo com umidade de 28%.

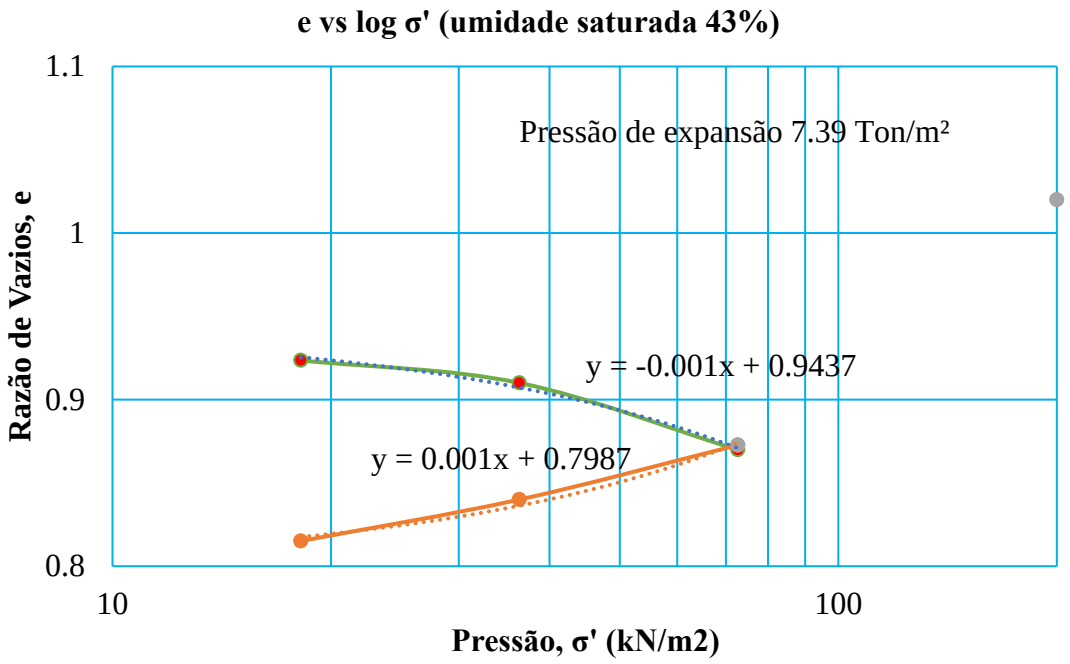

Figura 15. Pressão de expansão do solo com umidade de 38%.

Por fim, para determinar qual o período recomendado para iniciar uma autoconstrução, foram utilizados os trabalhos de Lezama, JM (2017), Antonio, Y. (2014), Montes, E. (2018) e a amostragem realizada para este trabalho. levados em consideração para preparar o gráfico apresentado na Figura 16 que mostra os conteúdos naturais de água e as mudanças volumétricas esperadas em um ano civil para compará-los com os dados de precipitação da CONAGUA. Para se ter os percentuais de precipitação, considera-se o mês de setembro 100%.

Vale ressaltar que os dados de teor de água obtidos pelos diferentes autores foram considerados na curva característica da Figura 9 para determinar a sucção dos materiais e obter sua variação volumétrica. Valores como o peso específico do material e a densidade relativa são necessários, além do citado neste parágrafo, para saber o grau de saturação do solo.

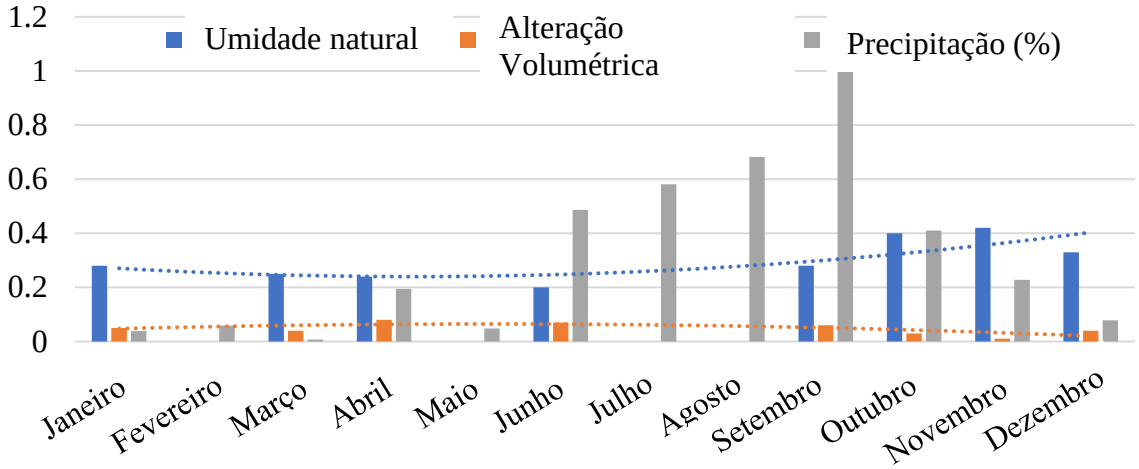

Figura 16. Teor de umidade e variação volumétrica da argila Santa Fé em período anual.

4. DISCUSSÃO

No México, a grande maioria dos solos expansivos encontra-se na parte não saturada do subsolo, o que significa que o conteúdo de água em suas estruturas tende a ser muito volátil dependendo das mudanças climáticas que ocorrem na crosta terrestre; isto faz com que estes materiais tendam a sofrer alterações volumétricas consideráveis.

Para a questão da construção de habitação social, o que foi referido no parágrafo anterior é muito importante ter em conta porque as pressões de expansão que o solo pode sofrer são maiores do que o peso que irá transmitir da propriedade para o subsolo. que uma casa unifamiliar é uma estrutura muito leve que pode facilmente permitir problemas como levantamento ou afundamento de calçadas e rachaduras nas paredes.

A partir dos resultados dos ensaios laboratoriais realizados, observa-se que o ângulo de atrito é um parâmetro desprezível pois a alteração do seu valor é nula quando variam as condições de saturação do solo, portanto a coesão é o valor que determinará o comportamento do material

Por outro lado, a pressão de expansão é menor quando o solo possui alto teor de água, considerando a Figura 16 onde a variação volumétrica também será menor, portanto, esses dois termos estão relacionados entre si.

Devido a estes dados e aos da Tabela 1, determina-se que alguns meses do ano são mais susceptíveis ao início da autoconstrução de uma casa, isto devido ao teor de água que os solos expansivos podem ter no início de o trabalho. Esse período seria de aproximadamente um mês após o término do período chuvoso, para que o solo não fique completamente saturado e tenha baixo potencial de expansão.

Outro caso seria o mês de maio, que na região de Bajío (Querétaro), é o mês mais seco, onde não é recomendado iniciar a autoconstrução neste período porque o solo estará em processo de secagem e nos meses subsequentes onde as chuvas começam a cair produzirá uma mudança considerável de volume que poderá danificar a fundação.

Existe um método que é a pré-saturação do solo, é uma técnica utilizada para levar o material ao seu estado úmido e assim não ter mais problemas com mudanças de volume ou expansão, mas lembrando que as argilas são materiais impermeáveis, e devido a sua alta capacidade de absorção de água, a quantidade de água que deve ser utilizada para pré-saturar o solo é excessiva; quando nesta técnica utilizam apenas alguns tubos para sua implementação.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados de precipitação obtidos no CONAGUA, o período anual recomendado para a autoconstrução de uma habitação social é de outubro a março, período em que a queda média de água absorvida pelo terreno está diminuindo, enquanto o período mais crítico para trabalhar é Abril-Agosto devido ao potencial de alteração de volume do solo.

Se se deseja construir no período crítico, as variações volumétricas e a pressão de expansão do solo devem ser levadas em consideração, portanto no projeto de uma fundação ela deve ser rígida o suficiente para suportar esses esforços; isso acarreta um custo maior no conceito de deslocamento da casa.

O solo nunca fica completamente seco devido ao conceito de sucção e, ao mesmo tempo, nunca fica completamente úmido. É necessária chuva excessiva para atingir a saturação, o que não é recomendado para iniciar a autoconstrução devido à questão das paredes deslizantes em escavações.

Na República Mexicana existem várias áreas onde estão presentes solos expansivos, por isso deve-se analisar a precipitação média anual de cada região para saber com certeza qual é o período recomendado para a autoconstrução da casa.
A partir das propriedades mecânicas de uma argila expansiva, observa-se que a coesão muda dependendo do teor de água, isso está diretamente relacionado à sucção do próprio solo: em baixo teor de umidade, a coesão e a sucção são altas; pelo contrário, se a água no interior da estrutura for elevada, as propriedades do material são baixas.
O solo estudado apresenta grau de saturação médio-alto, portanto a sucção e a coesão podem ser alteradas no período seco com grande alteração na sucção e potencial de alteração volumétrica, enquanto no período chuvoso (junho-setembro) a redução na sucção é pequena, mas o material perde resistência à medida que sua coesão diminui.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento à Faculdade de Engenharia da Universidade Autônoma de Querétaro pelo apoio e facilidades disponibilizadas, como a utilização do laboratório de Geotecnia para a realização dos ensaios que orientaram a elaboração deste trabalho de pesquisa.
Agradecemos ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CONACYT) pelo apoio financeiro concedido.

7. REFERÊNCIAS

Álvarez, A. et al. (2017), *Contribución de las Frecuencias Características al Periodo de Vibración Dominante en la Ciudad de Querétaro, México*. Revista de Ingeniería Sísmica No. 97: 84-101. https://doi.org/10.18867/ris.97.482.
Antonio, Y. (2014). "*Evaluación del impacto de la contaminación con diésel en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso*", Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro, p. 57 - 69. https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/333
ASTM International. (2020). *ASTM D7181-20 a Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils*. DOI: https://doi.org/10.1520/D7181-20
ASTM International (2010). *ASTM D5298-10 a Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper*. DOI: https://doi.org/10.1520/D5298-10
ASTM International (2019). *ASTM D837-19 a Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clay*. DOI: https://doi.org/10.1520/C0837-09R19
ASTM International (2007). *ASTM D422-07 a Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. DOI: https://doi.org/10.1520/D0422-63R07
ASTM International (2010). *ASTM D4318-10 a Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. DOI: https://doi.org/10.1520/D4318-10
ASTM International (2008). *ASTM D4546-08 a Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Cohesive Soils*. DOI: https://doi.org/10.1520/D4546-08
Carraco J. C. (2017). "*Implementación de Ensayos de Succión en Suelos Parcialmente Saturados y Análisis de Resultados en Suelos Residuales*". Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Chile, p. 7-9.
Casanova, M. (2018). "*Modelación elastoplástica de la curva de retención de agua en suelos parcialmente saturados*". Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España. p. 15.

Conagua (2022). "*Precipitación por Entidad Federativa y Nacional*". Comisión Nacional del Agua. https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Pron%C3%B3stico%20clim%C3%A1tico/Temperatura%20y%20Lluvia/PREC/2022.pdf. 05/01/2023.

Flores, I. et. al. (2019), *Estabilidad de taludes durante un desembalse rápido en presas de tierra con suelos parcialmente saturados*". Ingeniería y Desarrollo, p.15. https://doi.org/10.14482/inde.38.1.624.15.

Guerrero, C. (2013). "*Interacción Suelo-Estructura en Arcillas Expansivas*". Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, p. 11-15.

López T. et. al. (2014), *Análisis de estructuras huecas invertidas colocadas sobre suelos expansivos*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica: 1-2. http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19_XXVII_Reunion_Nacional_de_Ingenieria_Geotecnica/36_Reunion_Nacional/83_SUELOS_NO_SATURADOS/A10LOLT_1.docx

Lezama, J. M. (2017). "*Estudio del índice de reactividad en suelos expansivos bajo diferentes condiciones de esfuerzo aplicado y humedad inicial*", Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Querétaro, p. 32-38.

Massarsch, K.R. (1979). "*Lateral Earth Pressure in Normally Consolidated Clay*". 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, Proceedings, Vol. 2, pp. 245-249.

Montes, E. (2018). "*Estabilización de suelos y eliminación de fenol mediante subproductos de la industria avícola*", Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Estado de México, p. 47, 79-80.

Musso, J. y Suazo, G. (2019) "*Determinación de la curva de retención de agua para relaves multimetálicos de la industria minera de Chile y Proyectos 25*", p. 22-29. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132019000100022.

Nelson J. D. et. al. (2015). "*Foundation Engineering for Expansive Soils*". John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, United States of America, p. 30-38.

Torres, C. A. et al (2016). "*Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión*". Terra Latinoamericana, 34(4), 457-466. Recuperado en 10 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792016000400457&lng=es&tlng=es. ISSN 2395-8030.

Yáñez, N., D. Dec, J. Clunes y J. Dörner. (2015). "*Estimación de la curva de retención de agua de un Andisol bajo un cultivo de arándano, a través de funciones de pedotransferencia*". Agro Sur 43 (3): 63-72. DOI: https://doi.org/10.4206/agrosur.2015.v43n3-07

Zepeda, J. A. y Castañeda, A. H. (1989). "*Distribución de suelos expansivos en la República Mexicana*". Curso Internacional de mecánica de Suelos Arcillosos. J. Alfredo Zepeda Garrido. México.