

SOLOS EXPANSIVOS: MECANISMOS DE EXPANSÃO E TRATAMENTO

Hanna Gabrielly dos Santos Gomes ¹
Carina Silvani ²

RESUMO

Os solos expansivos, são aqueles que mudam sua condição de umidade, podem aumentar ou diminuir o seu volume. Em períodos de estiagem o solo possui o comportamento de contrair e enrijecer, enquanto em épocas chuvosas ele expande, ocasionando o aumento de vazios em suas partículas. No Brasil esse problema é de grande importância, pois atinge regiões economicamente ativas, como por exemplo o Nordeste Brasileiro. Neste cenário a presente pesquisa visa, através de revisão bibliográfica, entender os fatores que desencadeiam a expansão e técnicas adequadas para solução deste problema. A mudança de umidade pode ocorrer por diversos motivos, dentre esses está o fenômeno de expansão atrelado à capacidade intrínseca de alguns argilominerais do solo. Esse processo está vinculado ao tipo de argilomineral predominante em sua microestrutura, sendo o estudo de suas propriedades de grande importância para o entendimento do seu comportamento. Os mecanismos de expansibilidade podem ser por: atração superficial (ocasionada pelas forças eletrostáticas, originadas pelas cargas negativas das superfícies dos argilominerais), hidratação (ocorre pela atração de cátions para a superfície negativa das partículas de argila, anulando a sua carga), fenômenos intercristalinos ou intracristalinos e osmóticos (dependem da disponibilidade de água, do tipo e quantidade de cátions trocáveis e da ordem de interação entre a água e estes cátions.) e também através da repulsão osmótica (resultante dos gradientes de pressão desenvolvidos nas camadas duplas por variação na concentração iônica nestas camadas).

Palavras-chave: Argilominerais, Estabilização com cimento, Expansão intracristalina.

INTRODUÇÃO

O material mais utilizado na Engenharia Geotécnica é o solo e este apresenta características muito complexas e variáveis (DALLA ROSA, 2009). Apesar de ser um material de extrema abundância, muitas vezes não possui propriedades mecânicas adequadas para sua utilização em projetos de engenharia, podendo ser tratados com técnicas de melhoramento do solo. (VERMA et al., 2021)

A exemplo de solos de difícil utilização, têm-se os solos expansivos, que muitas vezes não atendem aos requisitos de projeto, por apresentar variação volumétrica, quando submetidos

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, hannagabrielly383@gmail.com;

² Dr^a e Professora do Curso de Engenharia Civil Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, carinasilvani@gmail.com;

a mudanças na umidade, podendo acarretar diversas patologias através de deformações diferenciais nas obras de engenharia (KULANTHAIVEL et al., 2020). No final da década de setenta nos Estados Unidos, foram gastos cerca de dois bilhões de dólares anuais para resolver problemas ligados a expansibilidade dos solos (COSTA NUNES E CRAIZER, 1978). No Brasil esse problema é de grande importância, pois atinge regiões economicamente ativas, como por exemplo o nordeste brasileiro, distribuídas nos estados do Pernambuco, Rio Grande do Norte, Alagoas e Bahia, onde foi constatada a ocorrência de solos potencialmente expansivos. (FERREIRA, 1995)

Os solos expansíveis podem ser modificados através de técnicas de estabilização química, a adição de um material que reage quimicamente com o solo, criando um novo material com características de resistência e deformabilidade próprias. Atrelado a essa temática, podemos citar o crescimento das técnicas de estabilização com resíduos industriais, pois os materiais clássicos (cal e cimento), possuem uma matriz produtiva poluente e com a elevada demanda energética. Logo, nesse contexto, objetivou-se através de revisão bibliográfica, entender os fatores que desencadeiam a expansão e técnicas adequadas para solução do problema dos solos expansivos.

METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico para esta revisão de literatura foi realizado através do sistema Medline, que se refere às publicações dos últimos vinte anos, utilizando-se das palavras-chaves descritas no resumo. Foram selecionados artigos e trabalhos que tinham interesse para o objetivo proposto, ou seja, discutir sobre os métodos de expansão dos solos expansivos e seus devidos tratamentos, descritos no referencial teórico.

REFERENCIAL TEÓRICO

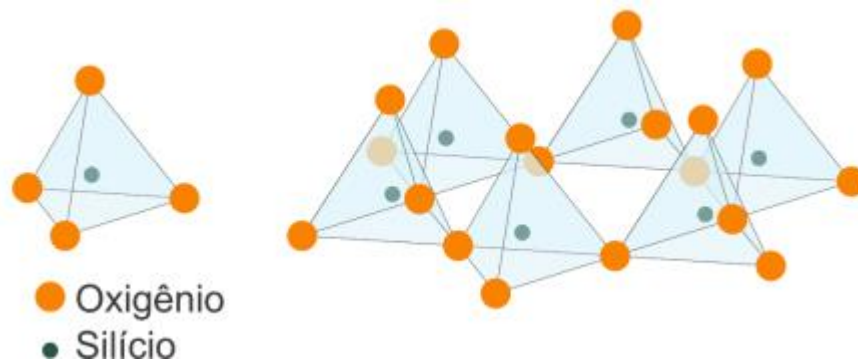
Os solos expansivos mudam sua condição de umidade, podem aumentar ou diminuir o seu volume. Seu comportamento é sazonal, ou seja, varia de acordo com a época do ano, em períodos de estiagem o solo contrai e enrijece, enquanto em épocas chuvosas ele expande, aumentando o vazão de suas partículas. (AYALA, 1956). A mudança de umidade pode ocorrer por diversos motivos: infiltração de água no solo, evaporação, diferenças de temperatura e de sucção entre áreas vizinhas, e através da retirada de água do solo pelas raízes das plantas.

(PAIVA, 2009). Além disso, esse fenômeno de expansão está atrelado à capacidade intrínseca de alguns argilominerais do solo. (AYALA, 1986)

ARGILOMINERAIS

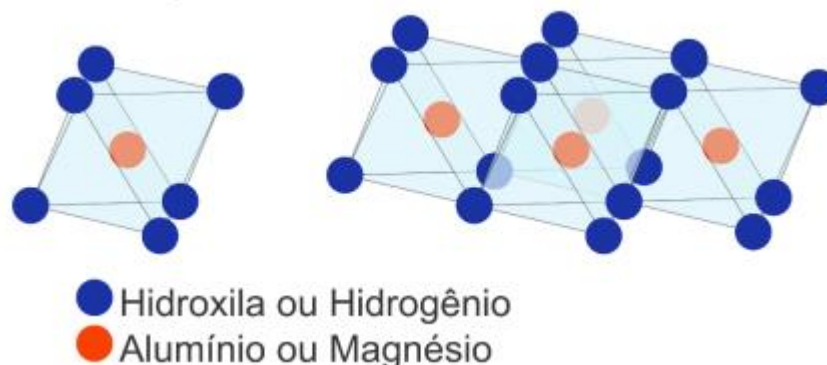
Os argilominerais são basicamente silicatos hidratados de Alumínio (Al) e/ou Ferro (Fe) e Magnésio (Mg), podendo conter ainda, como componentes essenciais determinadas quantidades de elementos alcalinos ou alcalino-terrosos (SANTOS, 1989). Esses argilominerais apresentam uma estrutura cristalina definida, cujos átomos estão dispostos em lâminas sendo constituídos pela alternância de unidades compostas por tetraedros de oxigênio e silício ou alumínio (Figura 1) e octaedros de oxigênio ou OH^- , com o centro ocupado por cátions como Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg_2 , Fe_2 e, mais raramente Ni_2 (Figura 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) (BADILLO E RODRIGUÉZ, 1988), (GRIM, 1962). Portanto, a estrutura dos argilominerais resulta da combinação do “empilhamento” das folhas tetraédricas de silício e dos octaedros de alumínio ou magnésio.

Figura 1 - Esquema de uma folha tetraédrica de silício e oxigênio



Fonte: Santos Júnior, 2021.

Figura 2 - Esquema de uma folha octaédrica



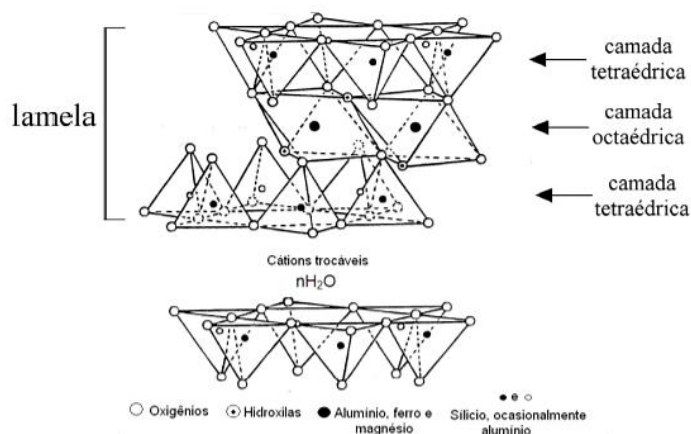
GRUPO DOS ARGILOMINERAIS

Os silicatos em camadas podem ser agrupados em arranjos 1:1, 2:1, 2:1:1, referindo-se ao número de tetraedro de Sílica (Figura 2) e de octaedros de hidróxidos (Figura 3), que formam a célula unitária do argilomineral. Neste trabalho, destacaremos as do grupo 2:1: grupo das esmectitas e o grupo das micas que apresentam características de expansividade.

GRUPO DAS ESMECTITAS

Esmectitas são formadas pelo empilhamento de camadas compostas por uma folha octaédrica intercaladas a duas folhas tetraédricas, como mostrado na Figura 3

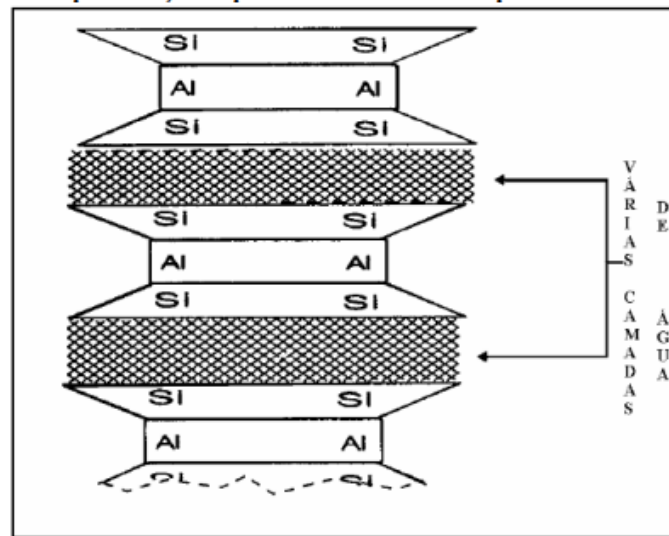
Figura 3 - Esquema estrutural das esmectitas



Fonte: Adaptado de GRIM, 1962.

A montmorilonita (Figura 4) é a principal espécie das esmectitas, que são representadas ainda pelas saponitas, ricas em Mg, hectoritas, ricas em Lítio (Li) e Manganês (Mn), nontronita, rica em Fe e beidelita, rica em Al, e apresenta forte tendência à instabilidade na presença de água. (PEREIRA, 2004)

Figura 4 Representação esquemática da estrutura típica da montmorilonita.



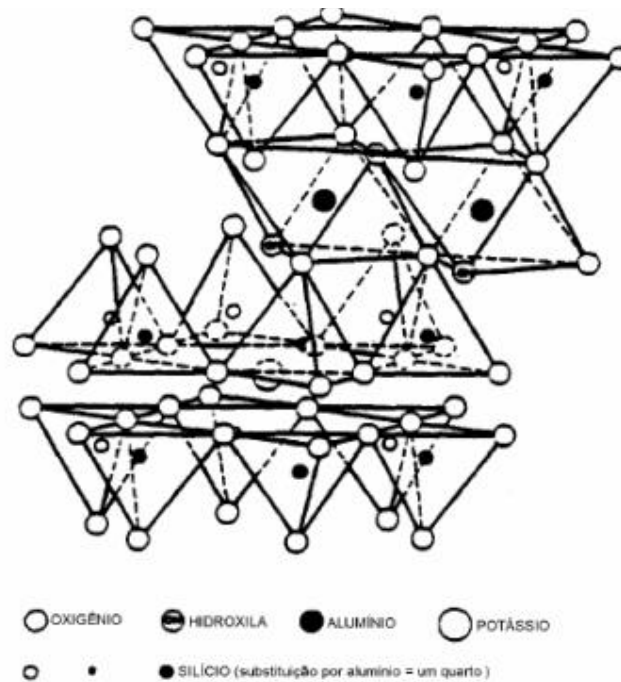
Fonte: Fonte: Yong *et al.*, 1992, *apud* Pereira, 2004

De acordo com Olphen (1963) *apud* Pereira (2004), a expansibilidade intracristalina das esmectitas pode ser explicada pela: hidratação dos cátions existentes entre as camadas estruturais pelas moléculas polares de água, diminuindo a força atrativa das camadas e adsorção de moléculas de água na superfície das camadas formadas por oxigênio, estabelecendo ligações de hidrogênio.

GRUPO DAS ILITAS

Este grupo tem como representante as micas, são constituídas por uma folha octaédrica intercalada a duas folhas tetraédricas, sendo as camadas estruturais ligadas por cátions monovalentes, normalmente K^+ . Apresenta uma estrutura semelhante à das esmectitas (Figura 5), com um espaçamento basal de 1,0 nm. (GRIM, 1962)

Figura 5 - Esquema estrutural da mica muscovita.



Fonte: Grim, 1962

Estudos feitos por Olphen (1963) *apud* Pereira (2004) mostraram que a diferença principal da illita para a montmorilonita, reside no fato de que a primeira não apresenta expansividade intracristalina, devido à forte ligação iônica gerada pelos íons de Potássio (K^+) entre as camadas estruturais. Apesar disto, na montmorilonita tipo K^+ ocorre expansividade intracristalina, pelo menor número de íons potássio e pela carga negativa estar localizada na folha octaédrica, originando forças eletrostáticas mais fracas.

Segundo Mitchell e Soga (2005) a illita somente manifesta sensibilidade à água em condições de extrema degradação, e esta ocorre devido à perda de íons K^+ das arestas expostas da partícula, tornando-a muito plástica. A capacidade de troca de cátions do grupo é da ordem de 10 – 40 meq/100g.

MECANISMOS DE EXPANSÃO

O processo expansivo do solo está vinculado ao tipo de argilomineral predominante em sua microestrutura, sendo o estudo de suas propriedades de grande importância para o entendimento do seu comportamento. (FERREIRA,1995).

Os mecanismos de expansibilidade físico-químicos podem ser intercristalinos ou intracristalinos e osmóticos. Ou seja, dependem da disponibilidade de água, do tipo e

quantidade de cátions trocáveis e da ordem de interação entre a água e estes cátions. Podendo ser listados em três tipos básicos: atração das partículas de argila, hidratação dos cátions e repulsão osmótica.

A atração superficial é ocasionada pelas forças eletroestáticas, originadas pelas cargas negativas das superfícies dos argilominerais, que buscam ser compensadas pela atração de cátions disponíveis na água livre dos poros e de moléculas polares (como a água). O volume da água da camada dupla aumenta até que ocorra uma variação de volume suficiente na massa de solo, pois a força de absorção de água diminui com a distância à superfície desta. (PRESA, 1984; PEREIRA, 2004)

Já a hidratação, ocorre pela atração de cátions para a superfície negativa das partículas de argila, anulando a sua carga. Desta maneira, os cátions atraem moléculas de água através dos polos negativos destas que por meio de seus polos atraem outras moléculas. Na hidratação ocorre um aumento no raio iônico, que promove o aumento de volume da massa do solo. (PRESA, 1984; PEREIRA, 2015)

Quanto a repulsão osmótica, ela é resultante dos gradientes de pressão desenvolvidos nas camadas duplas por variação na concentração iônica nestas camadas. Quando as moléculas de água entram em contato com o sistema argila-água-cátion, através da diferença de concentração, permitem o ingresso de água, atuando como membrana semipermeável. A água tende a passar esta membrana para igualar, por osmose, as concentrações dos dois lados, o que resulta no aumento da espessura da camada, e por consequência, o volume da massa de solo. (PEREIRA, 2004; SOUZA 2015)

TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO

A construção civil utiliza todos os tipos de solos. Porém, é importante ressaltar que alguns solos podem ser usados na sua forma natural, enquanto outros são inadequados para uso sem o devido tratamento, como os solos expansivos. Esses solos, precisam ser escavados e substituídos ou suas propriedades devem ser modificadas antes que possam atender os requisitos de projeto.

Uma alternativa para solos que não apresentam propriedades necessária para o projeto é a aplicação de técnicas de estabilização dos solos, que possuem o objetivo de aumentar a massa específica através da compactação, reduzir o adensamento através de sistemas de drenagem ou adicionar aditivos químicos ou biológicos para aprimorar o comportamento

mecânico. (CONSOLI, 2016) As técnicas de melhoramento de solo apresentam-se como solução econômica e ecologicamente adequada para este tipo de problema. Estas podem ser agrupadas em métodos estabilizadores físicos, mecânicos e químicos. (PETRY; LITTLE, 2002; IKIZLER et al, 2009)

A estabilização física consiste num processo de melhoria de propriedades a partir da alteração da compactidade do solo, modificando sua textura ou correção granulométrica, tornando o contato mais efetivo. Temos como exemplo de estabilização física do solo, a mistura em quantidades compatíveis de frações pré-estabelecidas e adição de fibras. (PINTO, 2008; SILVA, 2016)

Já a estabilização mecânica compreende a aplicação de um carregamento ao solo para compactá-lo, seu intuito é aumentar a densidade do solo, propiciando o ganho de resistência. Para favorecer essa melhora, solos como a granulometria variada e pequena quantidade de material fino são preferíveis. (SPENCE: COOKE, 1993 *apud* CARVALHO, 2011) Porém, esse método de estabilização não é interessante para solos expansivos, pois para este tipo de solo quanto mais compactados, maior será a sua capacidade de expansão (SILVANI et al.2021).

E por fim, na estabilização química, onde teremos mudanças químicas no solo pela inserção de uma quantidade suficiente de aditivo. Tais estabilizantes químicos provocam alterações químicas e cimentação dos grãos do solo, como por exemplo: cal e o cimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão apresentada deste artigo permite estabelecer de forma concisa 3 conclusões relacionadas aos métodos de estabilização e mecanismos de expansão, tidas como pertinentes para um entendimento básico dos conceitos analisados.

- Há sempre a necessidade de estudos integrados em diferentes áreas do conhecimento, voltados para a análise dos mecanismos de expansão e principalmente o entendimento dos argilominerais a respeito do seu compartimento.
- Os mecanismos de expansibilidade físico-químicos podem ser intercrystalinos ou intracrystalinos e osmóticos. Ou seja, dependem da disponibilidade de água, do tipo e quantidade cátions trocáveis e da ordem de interação entre a água e estes cátions. Para assim, ser analisados qual mecanismo será tratado de acordo com a técnica de estabilização adequada.

- As técnicas de melhoramento de solo apresentam-se como solução econômica e ecologicamente adequada para o problema que está se desejando solucionar.

REFERÊNCIAS

AYALA, C.; J, F.; GIJON, M. F.; MOZO, C.O.; RODRIGUEZ, J. L. S. **Mapa previsor de riesgos por expansividad de argillas en España a Escala 1:1.000.000**, In: Geologia Ambiental. Instituto Geologico y Minero de España, Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Públicas, España, Madrid, 1986.

BADILLO, E. J. & RODRIGUEZ, A. R. (1988). “**Mecánica de suelos**”. Tomo III, Flujo de agua en suelos. México, Editorial Limiusa. 188. Cáp. 1-2.

CARVALHO, A. L. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica e Física em Matrizes de Terra**. Relatório Final de Iniciação Científica. Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

CONSOLI N. C.; QUIÑONEZ R.A.; VILLALBA, N. M. K. Durability, **strength and stiffness of dispersive clay-lime blends**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 28, n. 11, 2016.

COSTA NUNES A.J E CRAIZER W.(1978)**Micro-ancoragens e Fundações em solos Expansivos**.1º Seminário de mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.Salvador.pp 16 – 192p

DALLA ROSA, A. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. 2009. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2009.

FERREIRA, S. R. M. **Colapso e expansão de solos naturais não saturados devidos à inundação**. Tese de Doutorado. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1995.

GRIM, R. E. **Applied clay mineralogy**. McGraw-Hill Publ. Company Ltda, New York, 1962.

KULANTHAIVEL, P.; SOUNDARA, B.; VELMURUNGAN, S.; NAVEENRAJ, V. **Experimental investigation on stabilization of clay soil using nano-material and white cement**. Materials Today: Proceedings, v. 45, p. 507-511, 2020.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior**. 2º ed., Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2005.

OLPHEN, H. V. **An introduction to clay colloid chemistry**. Wiley Interscience, New York, 1963.

PEREIRA, E. M. **Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada**. São Carlos. Tese de Doutorado em Engenharia Geotécnica – USP – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

PETRY, T.; LITTLE, D. **Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures**—History, Practice, and Future. *Journal of Materials in Civil Engineering - J MATER CIVIL ENG.* 14. 10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:6(447), 2002.

PINTO, A. R. A. G. **Fibras de Carauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 103p, 2008.

PRESA, E. P. **Deformabilidad d e las arcillas expansivas bajo succión controlada**. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. 274 p. Madrid, 1984.

SANTOS, S.H.T. **Análise do Comportamento de Misturas de Solos com Cinzas de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Cinzas de Casca de Arroz**. 2015. 125f Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: < <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=27064@1>>. Acesso: 22 jun. 2022

SILVANI, C.; LUCENA, L. C. F. L.; TENORIO, E. A. G.; SCHEUERMANN FILHO, H.C; CONSOLI, N. C. **Key Parameter for Swelling Control of Compacted Expansive Fine-Grained Soil-Lime Blends**. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, v. 146, p. 06020012, 2020.

SOUZA, R. F. C. **Estudo da influência da sucção na pressão de expansão de materiais argilosos com a tecnica da transferencia de vapor**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo. 2015.

VERMA, H.; RAY, A.; RAI, R.; GUPTA, T.; MEHTA, N. **Ground Improvement using chemical methods: A Review**. *Heliyon*, v. 7, n. 7, 2021.