
Universidade Federal de Pernambuco – Centro de Tecnologia e Geociências –
Departamento de Engenharia Civil

Mariana de Lemos Sybalde Carneiro

Monalyssa Caroline Lira da Silva Ramos

**SOLO EXPANSIVO DE SUAPE ESTABILIZADO COM A CAL E ESTUDO
PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DO EXTRATO DA MORINGA OLEÍFERA LAM NA
SUA ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA.**

Recife

2016

Mariana de Lemos Sybalde Carneiro
Monalyssa Caroline Lira da Silva Ramos

**SOLO EXPANSIVO DE SUAPE ESTABILIZADO COM A CAL E ESTUDO
PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DO EXTRATO DA MORINGA OLEÍFERA LAM NA
SUA ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Pernambuco como
parte para obtenção do Título de Bacharelado
em Engenharia Civil

Área de concentração: Geotecnia

Orientador:

Prof. Silvio Romero de Melo Ferreira

Recife

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

R175s Ramos, Monalyssa Caroline Lira da Silva.

Solo expansivo de Suape estabilizado com a cal e estudo preliminar da utilização do extrato da moringa oleífera LAM na sua estabilização mecânica / Monalyssa Caroline Lira da Silva Ramos e Mariana de Lemos Sybalde Carneiro. - Recife: O Autor, 2016.

52 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Solo Argiloso. 3. Potencialmente Expansivo.
4. Cal. 5. Extrato Semente de Moringa. I. Carneiro, Mariana de Lemos Sybalde. II. Ferreira, Silvio Romero de Melo. (Orientador). III. Título.

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S): 1 - Monalyssa Caroline Lira da Silva Ramos

CANDIDATO(S): 2 - Mariana de Lemos Sybalde Carneiro

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROFESSOR Silvio Romero de Melo Ferreira

Examinador 1: Dilson Corrêa Lima Teixeira

Examinador 2: Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Examinador 3: Washington Moura de Amorim Júnior

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Solo expansivo de Suape estabilizado com a cal e estudo preliminar da utilização do extrato da Moringa Oleífera Lam na sua estabilização mecânica.

LOCAL:

DATA: 19/02/2016 **HORÁRIO DE INICIO:** 09:00 HORAS.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) argüido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) () aprovado(s), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

() Sem revisões.

() Com revisões, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias.(o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) () reprovado(s).

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife,.....de.....de 20....

Orientador:.....

Examinador 1.....

Examinador 2.....

Examinador 3.....

Candidato 1.....

Candidato 2

RESUMO

Este trabalho estuda um solo argiloso, potencialmente expansivo, localizado nas proximidades do complexo industrial de Suape, situado no litoral sul do Estado de Pernambuco. Os solos expansivos podem ser bastante danosos para as construções e estão presentes em várias partes do mundo. Portanto esta pesquisa tem como objetivo estudar duas maneiras de estabilização química deste solo, sendo elas: a cal e o extrato da *Moringa Oleífera* Lam. A cal é resultante da calcinação de calcários ou dolomitos que através de decomposição térmica se transformam em hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), sendo largamente usado para atividades humanas. A árvore da *Moringa Oleífera* Lam, é bastante versátil, todas as suas partes podem ser utilizadas para atividades cotidianas, é bastante útil em locais onde há seca e além de tudo o extrato da semente é um floculador natural e através desta característica esta semente vem sendo utilizada para tratamento de água e, agora, para estabilização de solos expansivos. Para analisar o comportamento destes materiais foram feitos vários ensaios, sendo eles de caracterização física e ensaios edométricos, para avaliar a expansão livre e tensão de expansão no solo sem cal, no solo com cal e no solo com o extrato da Moringa, todos seguindo as devidas normas da ABNT. A cal foi utilizada nas proporções, em peso, de 3%, 5%, 7%, 9% e 11%, sendo observado que o acréscimo, em peso, de 11% proporcional uma estabilização na expansão, apesar de a expansão não ter zerado. Já o extrato da Moringa foi utilizado nas proporções, em peso, de 0,83%, 1,66%, 2,5% e 3,33%. Verificou-se que as concentrações do extrato de Moringa não reduziram a zero a expansão livre e a tensão de expansão, mas o acréscimo destas concentrações reduziram os valores de expansão livre e tensão de expansão.

Palavras - chave: Solo Argiloso. Potencialmente Expansivo. Cal. Extrato Semente de Moringa.

ABSTRACT

This work studies a clay soil, potentially expansive, located near the industrial complex of Suape, located on the southern coast of Pernambuco. The expansive soils can be quite harmful to the buildings and are present in various parts of the world. Therefore this research aims to study two ways of chemical stabilization of soil, namely: Lime and extract of *Moringa oleifera* Lam. Lime is resulting from the calcination of limestone or dolomite that through thermal decomposition turn into calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), is widely used for human activities. the tree *Moringa oleifera* Lam, is quite versatile, all parts can be used for everyday activities, is very useful in places where there is drought and beyond anything extract seed is a natural flocculant and through this feature that seed has been used for water treatment and now to stabilization of expansive soils. to analyze the behavior of these materials were made several tests, being physical characterization and edométricos trials to evaluate the free expansion and growth of tension in the soil without lime, soil with lime and soil with the *Moringa* extract, all following the appropriate ABNT. The lime was used in the proportions by weight of 3%, 5%, 7%, 9% and 11% was observed that the increase in weight of 11% proportional to stabilize the expander, though the expansion was not reset. Since *Moringa* extract was used in the proportions by weight of 0.83%, 1.66%, 2.5% and 3.33%. It was found that the extract of *Moringa* concentrations did not reduce to zero the free rise expansion and tension, but the addition of these concentrations reduced the free rise expansion and voltage values.

Keywords: Soil Clay. Potentially Expansive. Lime. *Moringa* seed extract.

LISTA FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular das argilas minerais a) caulinita; b) montmorilonita; c) illita (Vargas, 1978).	14
Figura 2 - Árvore da Moringa Oleífera Lam, (Fonte: Site de pesquisa Google – www.google.com)	25
Figura 3 - Semente da árvore da Moringa Oleífera Lam (Fonte: Site de pesquisa Google – www.google.com)	25
Figura 4 - Mecanismo de estabilização solo-cal (apud INGLES & METCALF, 1972 apud SILVA JUNIOR, 2010).....	28
Figura 5 - Fluxograma de Preparo do extrato da semente de moringa (OLIVEIRA,2010).	32
Figura 6 - Preparação mistura solo-cal.	33
Figura 7 - Preparação do extrato da Moringa.....	33
Figura 8 - Ensaio de sedimentação nas misturas solo-cal	34
Figura 9 - Equipamento picnômetro.	34
Figura 10 - Ensaio de Liquidez e Plasticidade.....	35
Figura 11 - Ensaio de Compactação e Proctor.....	36
Figura 12 - Ensaio de Tensão de Expansão e Expansão Livre.....	37
Figura 13- Curvas granulométricas do solo e das misturas solo-cal.	38
Figura 14 - Variação do teor de água com o teor de cal adicionado ao solo.....	40
Figura 15 - Curva da compactação do solo e da Mistura solo-cal.....	41
Figura 16 - Variação da massa específica aparente seca máxima com a adição de cal.....	41
Figura 17 - Variação da umidade ótima em relação as dosagens de cal.	42
Figura 18 - Potencial de expansão relacionada à dosagem de cal.	43
Figura 19 - Tensão de expansão para diferentes teores de cal.	43
Figura 20 – Caracterização granulométrica das concentrações de solo-extrato de Moringa.	45
Figura 21 – Limite de consistência para as dosagens de Moringa.....	46
Figura 22 - Expansão livre (%) x Teores de extrato de Moringa (%).	47
Figura 23 - Tensão de expansão (%) x Teores de extrato de Moringa (%).....	47

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Tabela de classificação granulométrica do solo, (fonte: site de pesquisas da Google – www.google.com).	12
Tabela 2 - Métodos de identificação de solos expansivos (SCHREINER (1987) e ...	17
Tabela 3 - Composição dos diversos tipos de cal comercializados no mercado brasileiro – valores médios (GUIMARÃES, 2002 apud SILVA JUNIOR, 2010).....	24
Tabela 4 - Composição química das sementes de moringa (OLIVEIRA, 2010).	29
Tabela 5 - Composição química da cal (Fonte: Fabricante).	31
Tabela 6 – Análise granulométrica do solo.	39
Tabela 7 - Resultados dos Limites de Attenberg.	39
Tabela 8 - Teores de Cal relacionados com o percentual de expansão livre, tensão de expansão, umidade ótima e peso específico aparente máximo.	43
Tabela 9 – Análise comparativa da granulometria do solo com as concentrações de extrato de Moringa.	45
Tabela 10 - Resultados dos Limites de Attenberg.....	46
Tabela 11 - Resumo dos resultados dos ensaios realizados com o solo puro e da mistura solo-cal.	48
Tabela 12 - Resultados de expansão livre e tensão de expansão para teores de extrato de moringa.	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa e Relevância	10
1.2	Objetivos	10
2.	DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1	Revisão Bibliográfica	11
2.1.1	Formação e Fases do solo	11
2.1.1.1	Fração argila dos solos	12
2.1.2	Solos Expansivos	14
2.1.2.1	Origem dos solos expansivos.....	14
2.1.2.2	Expansibilidade do solo.....	15
2.1.2.3	Mecanismos de expansão.....	16
2.1.2.4	Reconhecimento de solos expansivos e técnicas de ensaios	17
2.1.2.5	Fatores influentes na expansão	19
2.1.2.6	Locais de Ocorrência de solos expansivos no Brasil.....	20
2.1.3	Estabilização de solos expansivos	20
2.1.3.1	Formas de aplicação da Cal e do extrato de <i>Moringa oleífera</i> Lam	21
2.1.3.1.1	Aplicação da Cal.....	21
2.1.3.1.2	Aplicação do extrato de <i>Moringa Oleífera</i> Lam	22
2.1.3.2	Características da cal	22
2.1.3.3	Características da <i>Moringa Oleífera</i> Lam	24
2.1.3.4	Reação Solo - Cal	25
2.1.3.4.1	Reação de floculação e troca catiônica	27
2.1.3.4.2	Reação Pozolânica.....	27
2.1.3.4.3	Reação de Carbonatação.....	28
2.1.3.5	Reação solo-extrato da semente de moringa.....	28
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29

3.1	Programa de Investigação.....	30
3.2	Descrição da Área em Estudo.....	30
3.3	Aspectos geológicos da área de coleta do solo estudado.....	31
3.4	Cal Utilizada	31
3.5	Obtenção do Extrato da Moringa.....	31
3.6	Métodos.....	32
3.6.1	Preparação das Amostras	32
3.6.2	Misturas	32
3.7	Caracterização Física.....	33
3.7.1	Análise Granulométrica	33
3.7.2	Densidade Real dos Grãos	34
3.7.3	Limites de Atterberg	35
3.7.4	Ensaio de Compactação	35
3.7.5	Ensaio de Expansão Livre e Ensaio de Tensão de Expansão	36
4.	RESULTADOS E ANÁLISES	38
4.1	Mistura solo-cal	38
4.1.1	Caracterização física do solo e solo-cal – Granulometria.....	38
4.1.2	Limites de Attenberg.....	39
4.1.3	Resultados dos ensaios de compactação	40
4.1.4	Expansão livre e Tensão de Expansão – Cal.....	42
4.2	Mistura solo-extrato de Moringa	44
4.2.1	Caracterização física do solo-extrato de Moringa – Granulometria e Limites de Attenberg	44
4.2.2	Expansão livre e Tensão de Expansão – Extrato da semente de Moringa Oleífera Lam.....	46
4.3	Resumo dos Resultados	48
5.	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e Relevância

Alguns solos não saturados, quando aumenta o conteúdo de água em seus poros, ou quando solicitados por cargas e posteriormente umedecidos, experimentam uma variação de volume. Tais solos são ditos expansivos quando sua fração argilosa apresenta capacidade expansiva intrínseca. Estes solos, quando não identificados na fase de projeto são responsáveis por grandes prejuízos financeiros com danos das estruturas e, por vezes, e sua completa interdição ou desmoronamento.

Atualmente, o crescimento socioeconômico de Pernambuco é expressivo e encontra-se em execução grandes conjuntos habitacionais e obras de infraestrutura. Algumas dessas encontram-se localizadas em áreas de ocorrência de solos expansivos, como o canal de transposição do Rio São Francisco e a refinaria em Suape. Além de outras várias partes do mundo que esse tipo de solo ocorre. Daí surge à necessidade de sua estabilização em prol de manter a integridade das estruturas construídas sobre estes solos ou até mesmo a estabilização de encostas que predominem solos expansivos e, logo, a segurança dos cidadãos que usufruem dessas instalações.

Embora a solução de remover e substituir o solo expansivo por outro que não possua essa característica de expansividade ainda seja usada, em algumas ocasiões, isso pode se tornar inviável por conta da necessidade do transporte de grandes volumes em grandes distâncias (o que encarece essa solução), e principalmente por causar impactos ambientais pela necessidade de um local de despejo do material. Nesse contexto, a estabilização de solos assume grande importância por permitir a utilização de solos locais, ao invés da importação de outros solos.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento de estabilização de um solo expansivo mediante o uso da cal e do extrato da semente de moringa. E logo, determinar o menor percentual quantitativo, em peso, de cal e do concentrado

de extrato da semente de Moringa, necessário para estabilizar o solo expansivo de Suape.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Formação e Fases do solo

Os solos são resultados dos intemperismos físicos e químicos de rochas. A decomposição química é responsável por mudanças químicas ou mineralógicas nas rochas, enquanto as alterações físicas são capazes de modificar o tamanho das partículas, desta forma podemos ter pedregulhos, areias e siltes. As argilas, pode-se dizer de um modo geral, é o produto final e estável do processo de intemperismos das rochas (CPRM, 2016).

A expansão e contração térmica alternada de rochas sãs levam ao seu fraturamento, que é o primeiro estágio da decomposição, o qual pode está associado as forças expansivas resultantes de minerais constituintes das rochas, ou até mesmo da água que penetra pelas fissuras, ou ainda da raízes das plantas. Tais fatores podem atuar de forma isolada ou conjunta resultando na decomposição física de grandes blocos das rochas ou ainda em pequenos fragmentos. A alteração química das espécies de minerais que estão presentes na rocha, transformando-a em areias ou argilas. A oxidação e a presença de água acidulada, por ácidos orgânicos são os principais agentes na decomposição química. O grau de alteração depende por um lado da natureza da rocha e, do outro, do clima na região, isto é, por alterações de temperatura e alternância de chuvas (VARGAS, 1978).

O solo é composto de fase sólida, ar e água. Quando um solo tem apenas ar em seus vazios, é tido solo seco; quando o solo apresenta apenas a parte sólida e água, é classificado como solo saturado, mas normalmente o solo é encontrado com sua parte sólida, ar e água, na natureza, sendo denominado de solo natural.

A fase sólida é composta por minerais e matéria orgânica, com os grãos de formas angulosas, laminares, arredondadas. Na fase líquida é encontrada a água livre, que pode ser capilar ou gravitacional e sais dissolvidos na água, porém a alta concentração desses sais pode gerar uma dificuldade no desenvolvimento da

camada difusa. A fase gasosa é constituída por ar ou vapor d'água, a presença de dessa fase gasosa está presente no solo seco e em solos não saturado (BARBOSA, 2013).

Tabela 1 - Tabela de classificação granulométrica do solo.

Escala granulométrica brasileira (ABNT)	
argila	$\phi < 0,005\text{mm}$
silte	$0,005\text{mm} < \phi < 0,05\text{mm}$
areia fina	$0,05\text{mm} < \phi < 0,425\text{mm}$
areia média	$0,42\text{mm} < \phi < 2,00\text{mm}$
areia grossa	$2,00\text{mm} < \phi < 4,80\text{mm}$
pedregulho	$4,80\text{mm} < \phi < 76\text{mm}$
pedra	$76\text{mm} < \phi < 25\text{cm}$
matacão	$25\text{cm} < \phi < 100\text{cm}$
bloco de pedra	$\phi > 1\text{m}$
Escala do Sistema Internacional	
pedregulho	$\phi > 2,00\text{mm}$
areia	$0,02\text{mm} < \phi < 2,00\text{mm}$
silte	$0,002\text{mm} < \phi < 0,02\text{mm}$
argila	$\phi < 0,02\text{mm}$

(FONTE: site de pesquisa Google)

2.1.1.1 Fração argila dos solos

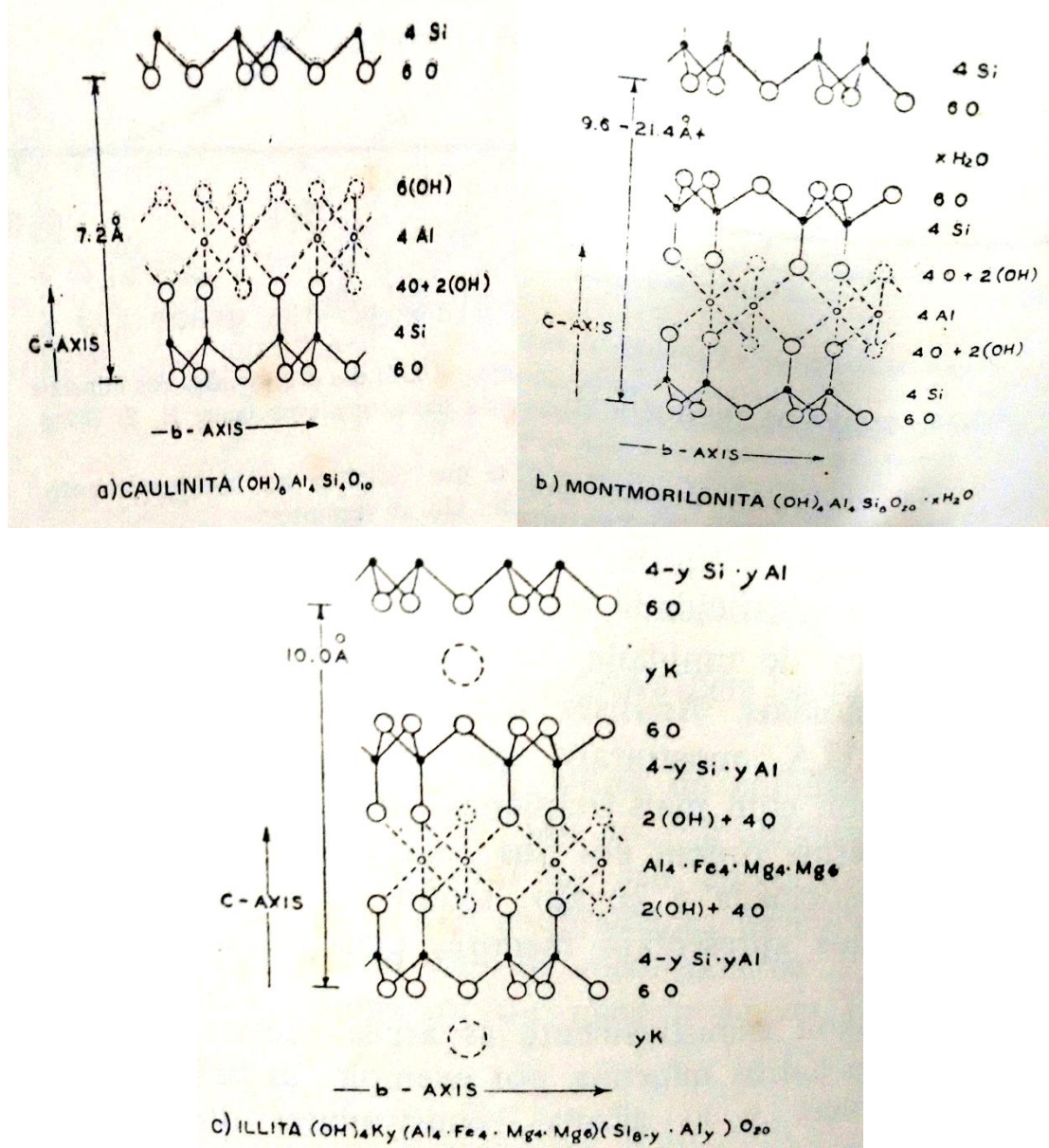
As argilas são partículas de pequena dimensão, com diâmetros abaixo de 0,005mm segundo a ABNT 6502/95, que se originam do fraturamento de rochas como o granito e o gnaiss, através de atuação de alterações físicas e químicas, responsáveis por tornar o fragmento em partículas de pequenas dimensões. A argila é composta basicamente por silicato de alumínio hidratado e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além de vários outros, dependendo da região em que é encontrada: feldspatos, silicatos, carbonatos, entre outros elementos. Esse sedimento pode ser formado por apenas um mineral argiloso, mas o mais comum é ser formado por uma mistura deles, com predomínio de um. Todos, porém, são filossilicatos - ou seja, silicatos que formam lâminas -, de baixa dureza, densidade também relativamente baixa e boa clivagem em uma direção. Rochas argilosas como folhelho e siltito são também incluídas nesse conceito no comércio desses materiais (CPRM, 2016).

Devido as suas pequenas dimensões, as argilas possuem uma elevada área superficial com ligações químicas não saturadas, o que lhes permite interagir com diversas substâncias. Devido a isso elas apresentam um comportamento plástico quando interagem com a água, vindo até a inchar, aumentando muito de volume.

As argilas se fundamentam nas suas propriedades físico-químicas, as quais, podem ser citadas como: O tamanho das suas partículas (menor que 0,005 mm), morfologia dos cristais (laminares) e as substituições isomórficas que ocorrem neste tipo de mineral. Porém, as argilas, também possuem as características de inchamento e hidratação, pois como a sua estrutura é em folhas, a água pode se acumular entre as camadas e promover a separação destas e o volume total aumenta proporcionalmente a este afastamento das lâminas.

Outra característica fundamental das argilas é a sua capacidade de trocas catiônicas, os íons positivos presentes em meio aquoso entram em contato com as argilas e podem se infiltrar por suas lâminas facilmente e dali saírem facilmente também, pois suas ligações são fracas. Estes cátions não se prendem internamente na estrutura, mas sim superficialmente. Ainda ocorrem casos destas trocas que não acontecem em meio aquoso.

Figura 1 - Estrutura molecular das argilas minerais a) caulinita; b) montmorilonita; c) illita.



(FONTE: Introdução à Mecânica dos Solos, Milton Vargas, 1978)

2.1.2 Solos Expansivos

2.1.2.1 Origem dos solos expansivos

CHEN (1988) apud SILVA JUNIOR (2010) afirma que os solos expansivos se originam através de uma complexa combinação de condições e fatores que resultam na formação de argilominerais com propriedades químicas particulares, como a expansão através do contato com a água.

DONALDSON (1969) apud SILVA JUNIOR (2010) classifica os materiais de origem que podem ser associadas com solos expansivos em dois grupos: o primeiro

compreendido de rochas ígneas básicas e a segundo de rochas sedimentares contendo montmorilonita.

2.1.2.2 Expansibilidade do solo

Solos expansivos são solos não saturados, possuem argilominerais de estrutura laminar do tipo 2:1 principalmente do grupo das esmectitas, como as montmorilonitas ou vermiculitas. Apresentam contrações e expansões com aparecimento de superfície de fricção; solos com drenagem baixa e alta atividade, derivados de rochas ígneas, basicamente Basalto, Diabases e Gabos, e de rochas sedimentares basicamente: Folhelhos, Margas e Calcários. São de regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas concentradas BARBOSA (2013).

O solo pode se expandir sem ser um solo expansivo. A expansão não é uma característica única do solo expansivo, pois qualquer estrutura carregada, ao retirar a carga poderá haver aumento do volume devido ao alívio de tensão. Por outro lado, devido ao processo de cisalhamento dos solos compactados, a superfície de ruptura poderá estar em cisalhamento devido ao entrosamento das partículas e ao rolarem uma sobre as outras, pode causar dilatação provocado variação de volume apesar de não ser um solo expansivo.

Para o solo ser expansivo deve ter características mineralógicas, como presença de argilo-minerais expansivos (especialmente as montmorilonitas), ou ser derivado de rochas ígneas (basaltos, diabásios e gabros) e rochas sedimentares (folhelhos e calcários). E para que ocorra uma expansão significativa de um solo se exige três condições básicas:

- estrutura do solo parcialmente saturada e potencialmente instável;
- crescimento crítico do teor de umidade do solo;
- um valor de tensão aplicada que seja pequeno suficiente de forma a permitir uma condição meta-estável.

A expansibilidade constitui um fenômeno essencialmente físico-químico, podendo também estar associado a causas mecânicas, e tem sido explicado com base nas forças existentes entre partículas e entre camadas estruturais. O propósito de

conhecimento da expansão do solo é identificar e classificar o seu potencial de expansão (variação volumétrica específica) e sua pressão de expansão, ou pressão a ser aplicada a uma amostra já sofreu expansão, para que seu volume retorne ao valor inicial de modo a permitir ao engenheiro uma avaliação quantitativa dos problemas que possam surgir da sua utilização como base da fundação das edificações.

2.1.2.3 Mecanismos de expansão

Uma das principais causas da expansão dos solos é devido a adsorção de água pelos argilominerais que não podem ser considerados inertes. SILVA JUNIOR (2010) aponta que em argilas compostas principalmente de montmorilonita as partículas formam lamelas ou treliças separadas por camadas de água com espessura variável, sendo a superfície interna também carregada negativamente. Essa superfície carregada negativamente atrai moléculas de água, originando a água adsorvida, sendo a energia de atração dependente da distância das moléculas de água para as partículas de argila, os fenômenos que estão associados a adsorção são pontes de hidrogênio, adsorção polar, adsorção catiônica e forças de valência secundária de London-Van der Waals.

Além da adsorção de água, outros fatores atuando concomitantemente colaboram com o aumento do volume dos solos, como por exemplo a hidratação das partículas de argila, de cátions e a repulsão osmótica.

Existem cerca de dois requisitos primordiais para que o solo exiba expansividade e eles são intrínsecos e extrínsecos. Nos Intrínsecos é que deve-se existir mecanismos em ordem microscópicas que produzam uma variação volumétrica no solo, como a composição mineralógica e a estrutura molecular. Já os extrínsecos consistem em forças que transferem a umidade de um local a outro do solo, como a vegetação e a ocupação antropológica.

Dois requisitos básicos são necessários para um solo exibir expansividade: i) Intrínsecos – deve existir e entrar em funcionamento mecanismos, em nível microescalar, que produzam a instabilidade volumétrica do solo (composição mineralógica, textura e estrutura); ii) Extrínsecos – deve estar presentes, forças capazes de transferir a umidade de um ponto a outro do solo (climatologia, hidrogeologia, vegetação, ocupação antrópica).

As trocas catiônicas que ocorrem nos argilominerais também é um mecanismo que influencia na expansão, pois estas trocas ocorrem quando existe a presença de cátions que possuem uma afinidade maior pelos argilominerais e é através dessa capacidade de trocar cátions que se observa o quanto um mineral é predisposto a adsorver cátions. A adsorção de cátions produz uma dupla camada elétrica negativa que se atrai por uma dupla camada elétrica positiva que se encontra nas proximidades das partículas argilosas, com alta concentrações de cátions. Portanto, a adsorção de cátions é primordial para o mecanismo de expansão.

2.1.2.4 Reconhecimento de solos expansivos e técnicas de ensaios

Devido a dificuldade da identificação de solos expansivos vários métodos numéricos e hipóteses simplificadoras foram criados com o intuito de ajudar a solucionar este problema. Segue abaixo uma tabela com alguns desses métodos.

Tabela 2 - Métodos de identificação de solos expansivos.

Métodos	Sub-Divisões	Critério	Referência
INDIRETOS	Identificativos	Difração e raio X	AYALA et al. (1986).
		Microscopia eletrônica de Varredura, Análise termo-diferencial e Adsorção de etilenoglicol e glicerina	
	Físico-químico		FINK et al. (1971).
	Orientativos	Granulometria	PRIKLONSHIJ (1952)
		Consistência e Índices físicos e Classificação	SKEMPOM (1953), SEE et al. (1962), VAN DER MERWE (1964)
		Geotécnica	CHEN (1965), VIJAYVERVIA E GHAZZALY (1973), RODRIGUEZ ORTIZ (1975), CUELLAR (1978)
			DAKSANAMURTHY E RAMAN(1973).
DIRETOS	Qualitativos	Geologia, Geomorfologia Pedologia e Identificação visual	PATRICK E SNETHEN (1976), AYALA et al. (1986), FERREIRA (1990c e 1993a).
	Avaliativos	Ensaio de Expansão de Lambe	LAMBE (1960).
	Quantitativos	Expansão Livre e Tensão de Expansão, Ensaios Simples.	SEED et al. (1962), CHEN (1965) VIJAYVERVIYA e GHAZZALY (1973) RODRIGUEZ ORTIZ (1975), CUELLAR (1978), JIMENEZ SALAS (1980).
		Ensaios Edométricos de Sucção controlada	ESCARIO (1967 e 1969), AITCHISON et al. (1973), JOHNSON (1978)
			McKEEN (1980).

(FONTE: SCHREINER (1987) e FERREIRA (1995) apud BARBOSA (2013))

Nesta pesquisa foram abordados métodos indiretos (orientativos) e métodos diretos (quantitativos).

- **Métodos indiretos**

Esses métodos são baseados na análise de índices físicos, limites de consistência e composição do solo entre outros parâmetros.

Para este tipo de técnica os limites de consistência tem ampla aceitação, pois o fato da expansão nos solos está ligada aos índices de plasticidade também. Além disso existe os ensaios de difração e raio-X, que comumente são usados para analisar as características dos argilominerais.

Estes métodos indiretos possuem caráter indicativo, orientativo e qualitativo. No solo estudado por esse trabalho só foram abordados os métodos orientativos, que consistem na informação da mineralogia, porosidade, plasticidade e granulometria do solo. E através destas informações é possível ter uma ideia do potencial de expansão do solo.

- **Métodos diretos**

Segundo FERREIRA (1995), métodos diretos são aqueles baseados na medida de expansão induzida ao solo ou da tensão aplicada sobre ele para impedi-lo de expandir, e para isso foram utilizados ensaios edométricos. Para atingir os objetivos deste trabalho foram usados os métodos diretos de caráter quantitativos. Para FERREIRA (1995), os métodos quantitativos possuem duas características básicas: a expansão “livre” e a tensão de expansão.

- Expansão livre consiste em colocar o corpo de prova nas células edométricas, inundá-lo e medir a sua expansão até a estabilização desta variação de volume. Esta expansão é determinada através de porcentagens e existem diversas maneiras para realizar este ensaio que variam desde a sobrecarga colocada até o tipo de amostra.

A expansão livre é calculada através da seguinte fórmula:

—

Onde: E = Expansão livre uniaxial (%)

H = Altura inicial do corpo de prova (mm)

ΔH = Máximo acréscimo de altura

- Tensão de expansão é um ensaio que pode ser realizado por diversos métodos, os mais utilizados são:
 - Método 1 - Carregamento após expansão com diferentes sobrecargas;
 - Método 2 - Expansão e colapso sob carregamento;
 - Método 3 - A volume constante;
 - Método 4 - Edométrico Duplo;
 - Método 5 - RAO et al (1984);
 - Método 6 - Just et al (1984).

Neste estudo o escolhido foi o método 3 – Tensão de expansão a volume constante. Este método é um dos propostos pela Associação Internacional de Mecânica das Rochas ISRM (1989), para determinação da expansão a volume constante. Neste método se utiliza um corpo de prova que é submetido a uma tensão vertical pré – estabelecida, com o intuito de ajustar o sistema ou simular o solo “*in situ*”. O teste mede a pressão necessária para manter o corpo de prova, que está confinado e inundado, estabilizado, impedindo-o de expandir.

2.1.2.5 Fatores influentes na expansão

O fenômeno de expansão dos solos é muito complexo, envolvendo um conjunto de fatores que influenciam e interagem entre si, tais como a composição das argilas (argilomineral) e fatores ambientais (clima da região, natureza do fluido, grau de saturação do solo).

O que deve ter bem claro é que o potencial de expansão do solo esta atrelado principalmente ao arranjo estrutural de seus argilominerais, ao CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e a sucção do solo. Com relação aos fatores ambientais o que se pode comentar é que a expansão é função principalmente da variação positiva da umidade em campo, ou seja, ao aumento do grau de saturação do solo. Logo as

causas externas que podem levar a expansão de um solo são: variação da umidade devido a variações climáticas sazonais (chuvas), modificação do nível freático ou das condições hidrogeológicas e redução da tensão total do solo, proveniente de escavações ou corte de taludes, sendo que nesse caso as variações são mais lentas.

2.1.2.6 Locais de Ocorrência de solos expansivos no Brasil

No Brasil, os solos expansivos foram encontrados nas regiões Sul, Centro Sul, Norte e Nordeste, FERREIRA (2008). Dos 185 municípios que constituem o estado de Pernambuco, encontrou-se solos expansivos nas seguintes localidades: Afrânio, Petrolina, Cedro, Cabrobó, Salgueiro, Floresta, Serra Talhada, Petrolândia, Inajá, Ibimirim, Carnaíba, Nova Cruz, Paulista, Olinda, Recife, Cabo. O Sistema de Informações Geográficas dos Solos Expansivos e Colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC-PE) indicou uma suscetibilidade de ocorrência de solos expansivos alta em 12,5% da área do Estado, média em 38,7% e baixa em 45,2%, FERREIRA et al (2008).

2.1.3 Estabilização de solos expansivos

Ao longo dos anos muitos estudos foram feitos sobre os solos expansivos e através dos resultados obtidos pelas pesquisas realizadas foi possível observar que existem certas substâncias que quando misturadas ao solo, em certas quantidades, são capazes de estabilizar sua expansão.

Guimarães (2002) afirma que há várias técnicas para estabilização de solos e elas são divididas em dois grupos:

- Estabilização mecânica – consiste em retirar ou colocar frações do solo, modificando sua composição granulométrica, plasticidade entre outros parâmetros até alcançar os níveis aceitáveis pela norma.
- Estabilização química - é feita através de modificações físicas e mecânicas do solo utilizando aditivos como a cal, cimento Portland, silicatos de sódio, materiais betuminosos, resinas, compostos de fósforo, em quantidades que sejam suficientes para melhorar as propriedades do solo.

SILVA (2012) apud BARBOSA (2013) afirma que além de aditivos químicos convencionais como a cal, ainda existem elementos como o Licor Kraft, Vinhoto, alcatrão de madeira, entre outros.

Existem também outros tipos de formas de conferir mais resistência ao solo e até mesmo melhorar as suas qualidades naturais, são eles: Geossintéticos, colunas solo-cal, colunas solo-brita, drenos verticais de areia, etc.

Além destes existem outros tipos de substâncias que ainda estão sendo estudadas, para pesquisar o seu comportamento nos solos expansivos, como o uso de sementes *Moringa Oleífera* Lam.

Em função do objetivo proposto por este estudo enfatizou-se nos métodos de estabilização química com a cal e com a semente de *Moringa Oleífera* Lam.

2.1.3.1 Formas de aplicação da Cal e do extrato de *Moringa oleífera* Lam

2.1.3.1.1 Aplicação da Cal

O uso da cal para estabilização de solos expansivos já é largamente conhecido no mundo há um longo tempo. Segundo CHEN (1988) apud SILVA JUNIOR (2010) Afirme que a cal proporcione apenas um pequeno aumento na resistência do solo em relação à adição de outros materiais, como é o caso do cimento Portland, mas apesar disso a cal é um aditivo favorável na redução do potencial de expansão e na pressão de expansão do solo.

A forma mais comum de aplicar a cal no solo é através de um equipamento que despeje a substância no solo e então outro equipamento faça a mistura da cal com o solo natural e em seguida se faça uma boa compactação. Mas além desta clássica forma ainda existem outras maneiras de aplicação da cal no solo, como por exemplo:

- Estacas de cal – consiste de furos com pequenos diâmetros realizados no terreno, que são preenchidos com cal. Este aditivo então age tonando o solo a sua volta se torna seco porém é uma solução momentânea, pois quando o teor de água volta ao solo, a pressão intersticial também estará atuando, apesar de que a estaca permanece com uma fina crosta a sua volta. Normalmente esta solução é empregada na estabilização de taludes.

- Através de Colunas de solo – consiste de colunas de solo estabilizados com cal que possuem como intuito o melhoramento da capacidade de carga e reduzir o assentamento de argilas moles. O método é realizado através do remodelamento do solo “in situ” misturando-o simultaneamente com a cal através de injetores rotativos dotados de alhetas.

2.1.3.1.2 Aplicação do extrato de *Moringa Oleífera* Lam

A *Moringa oleífera* Lam é uma espécie originária do nordeste indiano GALLÃO et al. (2006) apud ARANTES et al. (2015), cujas sementes contêm proteínas com alta massa molecular responsáveis pelo processo de coagulação GHEBREMICHAEL et al. (2005) apud ARANTES et al. (2015) tornando possível a remoção de impurezas presentes na água por meio dos processos de sedimentação ou filtração.

A *Moringa* é uma das árvores consideradas mais úteis para o ser humano, pois praticamente todas as suas partes podem ser utilizadas, as suas folhas podem servir como forragem para os animais, já para os seres humanos a folhagem serve como verduras cruas e as suas sementes maduras podem servir torradas e transformadas em farinha. As suas sementes (oleosas) produzem óleos que podem ser usados tanto na alimentação quanto na produção de cosméticos e sabão, à madeira é usada para fabricação de papel e de fibras têxteis.

Sobre as formas de aplicação da semente de *Moringa*, a que mais se destaca é o seu uso no tratamento de água, pois como possui ação coagulante, esta semente é usada para aglutinar as impurezas da água e atuar como filtrante.

Mas além destas aplicações, ela também pode ser usada para tratar solos contaminados e lixiviado de aterros sanitários e nesta presente pesquisa a *Moringa oleífera* Lam vai ser estudada para analisar o seu comportamento na estabilização de solos expansivos, devido a sua capacidade de flocular, trocar de cátions e aglutinar as pequenas partículas.

2.1.3.2 Características da cal

A cal é um aglomerante resultante da calcinação de rochas carbonatadas constituídas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio. O resultado da calcinação dos carbonatos de cálcio e de cálcio-magnésio

é, respectivamente, o óxido de cálcio (CaO) e cálcio-magnésio (CaO – MgO), denominados genericamente de cal virgem ou cal viva, SILVA JUNIOR (2010).

A cal hidratada Ca(OH)_2 é obtida através da hidratação da cal viva (CaO), que é encontrada em pó. A cal hidratada é um dos produtos de maior utilização para estabilização de solo. As reações que formam a cal hidratada Ca(OH)_2 e a cal viva (CaO), estão descritas, respectivamente, nas equações 2.1 e 2.2 :



Onde,

CaCO_3 - Carbonato de Cálcio; CaO - Cal Cálcica Virgem

CO_2 - Dióxido de Carbono

H_2O - Água

Ca(OH)_2 - Cal Cálcica Hidratada

A cal cálcica é o produto obtido pela reação de hidratação mostrada acima. Chama-se cal cálcica o produto obtido pela reação de hidratação mostrada acima. Sabe-se que a partir da calcinação do calcário dolomítico, se obtém a cal dolomítica, que nada mais é que uma mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio ($\text{CaO} + \text{MgO}$). Assim, sabe-se que pode existir os seguintes tipos de cal:

- CaO - cal cálcica virgem
- $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ - cal dolomítica virgem
- Ca(OH)_2 - cal cálcica hidratada
- $\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{MgO}$ - cal dolomítica mono-hidratada
- $\text{Ca(OH)}_2 \cdot \text{Mg(OH)}_2$ - cal dolomítica bi-hidratada

Tabela 3 - Composição dos diversos tipos de cal comercializados no mercado brasileiro – valores médios.

TIPO DE CAL	CaO (%)	MgO (%)	Insolúvel no HCl (%)	Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ (%)	Perda ao Fogo (%)	CO ₂ (%)	SO ₃ (%)	CaO+MgO Base de Não-Volátil	MgO Não Hidratado
CAL VIRGEM	90-98	0,1-0,8	0,5-3,5	0,2-1,0	0,5-5,0	0,2-3,8	0,1-0,6	96,0-98,5	–
CAL HIDRATADA	70-74	0,1-1,4	0,5-2,5	0,2-0,8	23-27	1,5-3,5	0,1-0,0		0,5-1,8
CAL HIDRATADA	39-61	15-30	0,5-18,2	0,2-1,5	19-27	3,0-6,0	0,02-0,2	76-99	5 – 25
CAL VIRGEM DOLOMÍTICA	51-61	30-37	0,5-4,5	0,2-1,0	0,5-4,8	0,5-4,5	0,05-0,1		–

(FONTE: GUIMARÃES, 2002 apud SILVA JUNIOR, 2010)

2.1.3.3 Características da *Moringa Oleífera* Lam

A moringa é uma planta perene. Tem um rápido desenvolvimento em condições favoráveis, atingido uma altura de até 4 metros em um ano, podendo atingir 10 – 12 metros de altura quando adulta. É uma árvore sempre verde ou decídua conforme as condições ambientais. Tem uma copa aberta espaçada com ramos inclinados e frágeis; uma folhagem plumosa de folhas pinadas em três; suas flores são bastante perfumadas, de cor branca ou bege, pintadas de amarelo na base; o seu fruto (Figura 2.3b) é uma espécie de vagem triangular, com grande número de sementes, DELDUQUE (2000) apud OLIVEIRA (2010).

A planta suporta longos períodos de estio, solos pobres e cresce bem em condições semi-áridas. A espécie é forte, desenvolve rapidamente e não requer tratamentos especiais. A faixa de pH de solo para crescimento da Moringa é extensa (5 a 9) e há relatos de cultivo em altitudes de até 2000 m. Quando adulta alcança uma produção anual de 3 a 5 toneladas de sementes por Hectare, MORTON (1991) apud OLIVEIRA (2010).

É uma ótima planta para locais onde há seca, pois depois de estabelecida no terreno, ela se torna bem resistente, além de que sua semente por possuir

características de coagulantes naturais, é ótima para o tratamento de água nessa região.

Figura 2 - Árvore da Moringa Oleífera Lam,



(FONTE: Site de Pesquisa Google)

Figura 3 - Semente da árvore da Moringa Oleífera Lam (Fonte: Site de pesquisa Google – www.google.com)



(FONTE: Site de Pesquisa Google)

2.1.3.4 Reação Solo - Cal

A relação entre a cal e o solo depende dos elementos presentes no solo, dos componentes do meio ambiente e da cal adicionada. O solo influi com seus constituintes principais - argilas e quartzo; já o meio ambiente exerce influência com

os fatores temperatura, água e ar (anidridocarbônico); e a cal (hidratada ou virgem) com a expressão de seus teores de óxidos de cálcio e de magnésio.

A adição de cal a um solo e na presença de água desencadeia uma série de reações. Quando se adiciona cal a um solo fino acontecem reações em duas etapas, uma de forma imediata (após alguns minutos de contato), devido ao mecanismo de troca catiônica, floculação, compressão da dupla camada elétrica, adsorção de cal e reações químicas. E a segunda de forma lenta (meses ou anos), caracterizada pelas reações de cimentação pozolânicas e a carbonatação. A existência e intensidade destas reações estão relacionadas com o tipo de solo, (granulometria, mineralogia das partículas), com o tipo e teor de cal, temperatura e tempo de cura, THOMÉ (1994) apud BARBOSA (2013).

Embora as reações químicas que decorrem da adição de cal sejam complexas, CHEN (1988) cita que aparentemente elas resultam de dois processos. Inicialmente os íons de menor afinidade do argilomineral ($Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^+ > Rb > K^+ > Na^+ > Li^+ > H^+$, qualquer íon situado a esquerda pode trocar o íon situado a direita, isso é chamado de troca catiônica). Então os íons de cálcio os substituem e os íons de cálcios adicionais poderão também ser adsorvidos proporcionando maior densidade aos íons. Esta reação de substituição dos íons metálicos fracos por cátions fortes da cal também resultam em uma diminuição da plasticidade do solo, além de se obter uma maior estabilidade do potencial de mudança de volume. O segundo processo designa-se por alterar a textura do solo através da floculação da argila, aumentando a quantidade de partículas maiores promovendo a redução da variação de volume.

Porém outros autores discordam desta ideia, como Castro (1988) apud BARBOSA (2013) afirmando que não considera que a troca catiônica ocorra com a magnitude frequentemente considerada e que ela não justificaria a diferença de comportamento tão acentuada observada nas misturas solo-cal em prazos reduzidos. Para o autor a adsorção de moléculas de hidróxidos de cálcio seria a responsável por estas modificações de curto prazo e que as reações de características pozolânicas tem início imediato.

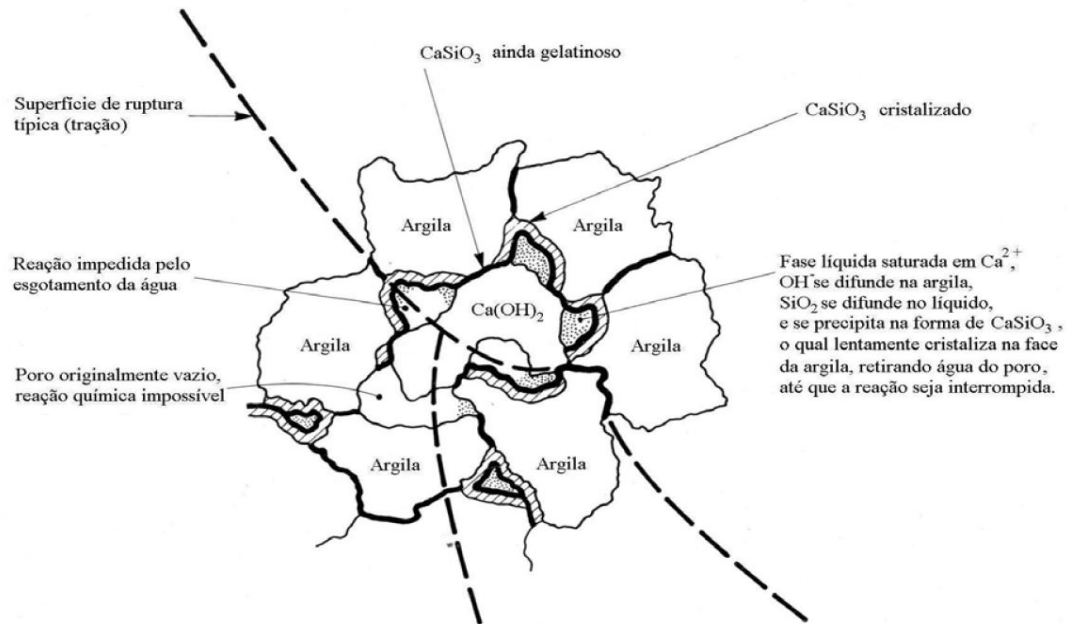
2.1.3.4.1 Reação de floculação e troca catiônica

Segundo Barbosa (2013) as reações de floculação e de trocas catiônicas são as primeiras a ocorrerem após a mistura de solo com a cal. Para Prusinski et al (1999) apud Barbosa (2013) a superfície do argilomineral é deficiente em carga, por isso cátions e moléculas de água são atraídas facilmente para a superfície de clivagem que possui cargas negativas, com o intuito de neutralizar esta deficiência, com essa atração surge a camada dupla difusa. A ordem é a troca de cátions de menor valência por cátions de maior valência, diminuindo a repulsão entre as partículas. Desta forma com a diminuição da repulsão as partículas de argila tende a aglomerarem por força de atração provocando a floculação das partículas, diminuindo o índice de plasticidade e a expansão do solo.

2.1.3.4.2 Reação Pozolânica

É uma reação que ocorre ao longo do tempo conferindo uma maior resistência ao solo misturado a cal. Isto ocorre porque os as fontes de sílica, alumina e ferro que estão presentes no solo reagem com ele e formam materiais cimentantes. Conforme INGLES & METCALF (1972) apud LOVATO (2004) os géis de silicato resultantes da reação imediatamente cobrem e ligam as partículas de argila, bloqueando os vazios. Os géis são cristalizados lentamente e transformados em silicatos hidratados de cálcio bem definidos. Os autores salientam que esta reação só ocorre em presença de água, que tem a função de carregar os íons de cálcio e hidroxila para a superfície da argila.

Figura 4 - Mecanismo de estabilização solo-cal.



(FONTE: INGLES & METCALF, 1972 apud SILVA JUNIOR, 2010)

2.1.3.4.3 Reação de Carbonatação

A carbonatação tem a característica de ação imediata, é uma importante reação para o mecanismo de estabilização solo-cal. É a combinação do óxido ou hidróxido de cálcio ou magnésio com o anidrido carbônico presente nas minúsculas bolhas de ar, absorvidas ou retiradas no momento da mistura ou pela penetração do ar nos poros após a execução. A reação tende a refazer o carbonato de cálcio, na forma de um novo corpo sólido que se entrelaça com os demais constituintes do solo. Isto ocorre porque, com o aparecimento do carbonato, há também o aparecimento de grãos de dimensões bem maiores, face à diferença das estruturas cristalinas unitárias entre a do carbonato e a do primitivo hidróxido de cálcio, (GUIMARÃES, 2002 apud BARBOSA, 2013).

2.1.3.5 Reação solo-extrato da semente de moringa

O extrato da semente de moringa constitui um coagulador que promove a aglutinação das partículas de argilo-minerais presente no solo, estes que são responsáveis pelo processo de expansão do solo quando reage com a água. Esse processo de coagulação é um mecanismo que tem como objetivo desestabilizar tais partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração em flocos de grande

dimensão, impedindo sua reação com partículas da água e promovendo a redução da variação de volume.

Embora ainda não exista uma literatura que melhor descreva esse processo que ocorre entre o extrato da semente de moringa e do solo com características expansivas, admite-se que esta reação é semelhante à reação que ocorre com o solo expansivo e a cal, onde pó das sementes da Moringa contém proteínas solúveis com carga positiva. Quando o pó das sementes é adicionado ao solo expansivo inundado em água, as proteínas liberam essas cargas atraindo as partículas carregadas negativamente dos argilo-minerais presentes no solo, impedindo a atração das partículas de H^+ da água com as cargas negativas das argilas expansivas e, logo, impedindo a reação de expansão do solo.

Tais proteínas solúveis são o composto encontrado em maior quantidade nas sementes de moringa, aproximadamente 40% (Tabela 2.4). A proteína das sementes de moringa é o composto de maior importância no processo de aglutinação. É relatado em Moringa oleífera a presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e adsorção, floculam os colóides seguindo-se de sedimentação (NDABIGENGESERE et al, 1995) apud (OLIVEIRA,2010).

Tabela 4 - Composição química das sementes de moringa.

Composição	Semente
Umidade (%)	6,3
Açúcares solúveis (g/100g)	3,14
Oligossacarídeos (g/100g)	3,31
Amido (g/100g)	6,02
Proteínas (g/100g)	39,3
Lípidos (g/100g)	18,8

(FONTE: OLIVEIRA, 2010)

3.MATERIAIS E MÉTODOS

A princípio, será apresentado o programa de investigação em laboratório, em seguida serão descritas informações gerais sobre a região de Suape – PE, onde foram retiradas as amostras do solo em estudo. Em seguida, será exposta uma descrição sucinta dos materiais utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, são detalhados os métodos utilizados para realização dos ensaios laboratoriais.

3.1 Programa de Investigação

O programa de investigação geotécnica do solo expansivo de Suape constou de coleta de amostras deformadas. Com estas, foram realizados ensaios de caracterização física, ensaios de compactação, expansão livre e tensão de expansão para corpos de prova do solo puro, com adição de cal e com adição do extrato de Moringa. Esta investigação tem como objetivo obter a caracterização física do solo juntamente com a mistura de cal e do extrato de Moringa, e assim, avaliar a expansividade do solo e averiguar as alterações ocorridas no solo com a adição da cal e do extrato de Moringa, podendo-se realizar um comparativo e aferir sobre qual dos dois métodos de estabilização é mais efetivo.

Primeiramente, foi realizada a caracterização das amostras de solo e das misturas solo-cal com teores de 3%, 5%, 7%, 9% e 11%, determinando suas características físicas e mecânicas. Para isto foram realizados ensaios de caracterização granulométrica por peneiramento e sedimentação (NBR 7181/14), densidade real dos grãos obtido através do picnômetro com a bomba de vácuo (NBR 6508/84), determinação de limites de liquidez (NBR 6459/84) e limite de plasticidade (NBR 7180/84), bem como os ensaios de compactação realizados na energia de Proctor normal (NBR 7182/86), para obter os parâmetros ótimos de compactação do solo (peso específico aparente seco máximo e umidade ótima). A caracterização mecânica englobou os ensaios índice de expansão “livre” e a tensão de expansão (ASTM D4829/95, e a NBR 12007/90).

Posteriormente, foi executada a caracterização mecânica das misturas solo-extrato de moringa utilizando 15g, 30g, 45g e 60g de moringa para 1,8kg de solo expansivo, que correspondem às proporções em peso de 0,83%, 1,66%, 2,5%, 3,33% de moringa, onde se realizou os ensaios índice de expansão “livre” e a tensão de expansão para estes teores.

3.2 Descrição da Área em Estudo

As amostras coletadas para a realização desta pesquisa é proveniente de área próxima ao canteiro de obras da Refinaria Abreu e Lima, do complexo industrial e

portuário de Suape, no Município de Ipojuca, Pernambuco. Algumas obras da área de Suape identificaram a presença de solo expansivo na etapa de terraplenagem.

3.3 Aspectos geológicos da área de coleta do solo estudado

O local de coleta de amostra está situado na Província Costeira de Pernambuco, que é dividida em dois grandes elementos geológicos: o embasamento cristalino e uma sequência da idade meso-cenozóica, acumulada nas Bacias Pernambuco/Paraíba, ao norte, e Cabo, ao sul. No local de coleta da amostra estavam presentes afloramentos de rochas vulcânicas escuras e de granulação fina, como o basalto, em vários estágios de intemperismo, características da Formação Ipojuca, representada pela sigla Kv e Kig (SILVA JUNIOR, 2010).

Segundo ALMEIDA (2003), esse termo foi introduzido por AMARAL & MENOR (1979) para designar a província magmática cretácea, constituída por rochas vulcânicas e subvulcânicas (basaltos, traqui-andesitos e traquitos, riolitos), equivalentes piroclásticas, e pelo Granito do Cabo. O termo Suíte Magma Ipojuca (abreviada por SMI) para designar essas rochas foi recentemente sugerido por outros autores.

3.4 Cal Utilizada

Para a realização das misturas solo-cal foi utilizada no estudo cal hidratada do tipo CH-I. A Tabela 4 apresenta a composição química desta cal, de acordo com o fabricante (BARBOSA, 2010).

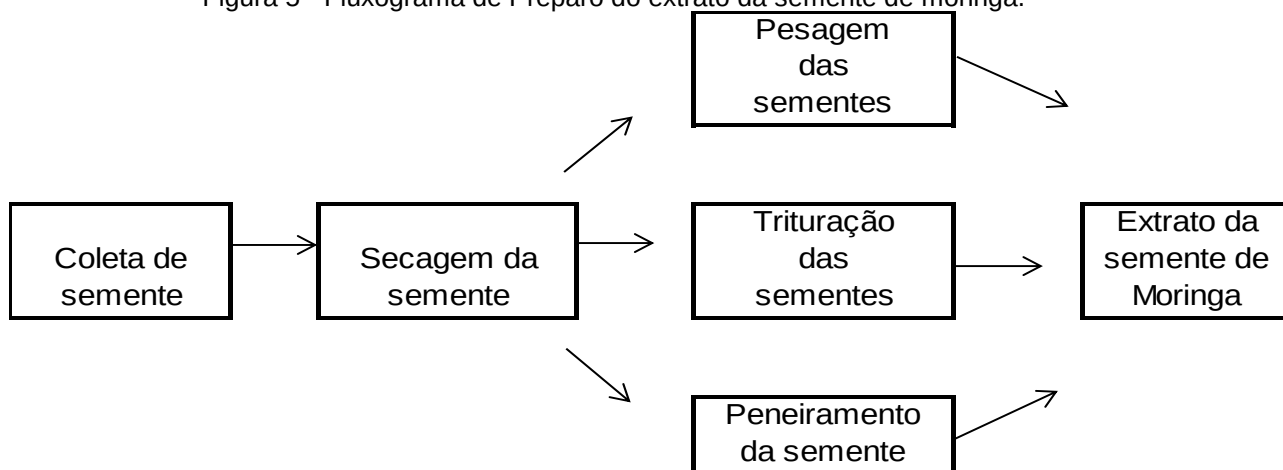
Tabela 5 - Composição química da cal.					
Composição Química - Cal Hidratada CH-I					
PPC	Ca(OH) ₂	MgO	RI** (Insolúvel em HCL)	SiO ₂	R ₂ O ₃
23-25%	92,5-98,5%	3,5% Max	0,5% Max	0,3% Max	1,5% Max
*PPC -	Perda por Calcinação				
**RI -	Resíduo Insolúvel				

(FONTE: Fabricante)

3.5 Obtenção do Extrato da Moringa

Para procedermos aos ensaios utilizamos sementes da Moringa oleífera Lam que foram colhidas em árvores do sítio São Bento localizado em São Bento do Una/PE e Bom Jardim/PE em duas épocas, abril e maio de 2009. Após secas, as sementes foram descascadas manualmente e armazenadas para posterior preparo do extrato representado no fluxograma abaixo.

Figura 5 - Fluxograma de Preparo do extrato da semente de moringa.



(FONTE: OLIVEIRA, 2010)

Para a obtenção do extrato das sementes de *Moringa oleífera* Lam utilizou-se o seguinte procedimento: retirou-se a casca das sementes e trituraram-se as mesmas com o uso de um pilão até se obter um pó. Misturou-se o pó em água destilada utilizando uma porcentagem de água calculada para atingir a umidade ótima do solo natural, anteriormente calculada no ensaio de compactação. Agitou-se por 5 minutos no agitador manual. Aguardou-se 5 minutos após a agitação para a utilização da solução coagulante sobre o solo expansivo em estudo.

3.6 Métodos

3.6.1 Preparação das Amostras

A preparação das amostras de solo foi realizada de acordo com o ensaio a ser executado. Para os ensaios de caracterização (granulometria, densidade real dos grãos, limites de consistência) e compactação foram seguidas as especificações da ABNT, NBR 6457/86.

3.6.2 Misturas

• Solo-Cal:

Para a realização dos ensaios adotou-se o peso seco das amostras de solo expansivo e foi adicionado cal em teores de 3%, 5%, 7%, 9% e 11%, em peso. A mistura (solo e cal) foi homogeneizada e os ensaios foram realizados após 1 hora.

Estudos realizados por Lima 2014, em solo de Suape utilizando o método de EADS & GRIN indicam o percentual de 7% para o solo atingir pH de 12,42.

Figura 6 - Preparação mistura solo-cal.



(FONTE: Autor)

- **Solo-Extrato de Moringa:**

Utilizando o extrato de Moringa nas proporções em peso de 0,83%, 1,66%, 2,5%, 3,33%. O extrato da Moringa foi adicionado a quantidade de 1,8Kg de solo expansivo estudado e a mistura foi homogeneizada.

Figura 7 - Preparação do extrato da Moringa.



(FONTE: Autor)

3.7 Caracterização Física

3.7.1 Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria realizado por peneiramento associado à sedimentação tem como objetivo principal o traçado da curva granulométrica do solo. A partir da curva estabelecida são retiradas informações para que haja a determinação da granulometria do solo.

O procedimento será realizado com embasamento na NBR 7181/14, que realiza o processo de peneiramento vinculado ao processo de sedimentação, para partículas com diâmetro mínimo de 0,075m.

Figura 8 - Ensaio de sedimentação nas misturas solo-cal .



(FONTE: Autor)

3.7.2 Densidade Real dos Grãos

A obtenção da densidade real dos grãos permite a determinação da densidade das partículas componentes do solo. A mesma é obtida utilizando o procedimento descrito na NBR 6508/84, Figura 9.

Figura 9 - Equipamento picnômetro.



(FONTE: Autor)

Foi utilizada uma amostra de 50g de solo seco que foi levada a estufa por 24 horas a aproximadamente 60°C e passando na peneira de 2 mm; como utilizamos o picnômetro de 50ml, então a quantidade utilizada de amostras secas foi de 10g para cada ensaio com duas repetições, e assim, considerou-se o valor médio encontrado.

3.7.3 Limites de Atterberg

Foram realizados ensaios de limite de liquidez e plasticidade, respectivamente, segundo a NBR 6459/84 (Solo - Determinação do limite de liquidez) e NBR 7180/84 (Solo - Determinação do limite de plasticidade). Assim foram ensaiadas amostras de solo natural e da mistura solo-cal nos teores de 3%, 5%, 7%, 9% e 11% de cal.

Figura 10 - Ensaios de Liquidez e Plasticidade.



(FONTE: Autor)

3.7.4 Ensaio de Compactação

Foram realizados ensaios de compactação visando determinar o teor de umidade ótima e o peso específico aparente do solo seco e das misturas solo-cal, os mesmos realizados de acordo com a NBR 7182/86 (Solo - Ensaio de compactação). A energia utilizada foi a do Proctor normal, uma vez que representa a condição usual em obras de terraplenagem.

Figura 11 - Ensaio de Compactação e Proctor.



(FONTE: Autor)

3.7.5 Ensaio de Expansão Livre e Ensaio de Tensão de Expansão

Foram realizados ensaios edométricos em amostras de solo puro, em amostras da mistura solo-cal dosadas com teores de 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 11% de cal e em amostras da mistura solo-extrato de moringa dosadas com teores 0,83%, 1,66%, 2,5%, 3,33% de moringa, tendo como referência os procedimentos da Norma ASTM D4829/95, e da ABNT, NBR 12007/90.

Os corpos de prova foram compactados estaticamente na umidade ótima e peso específico máximo. O objetivo destes ensaios foi analisar a influência do estado de tensão na deformação do solo causada pela inundação do solo no estado natural e dosado com a cal e com a Moringa.

Foram utilizados os mesmos equipamentos (células oedométricas) para os ensaios de potencial de expansão e de pressão de expansão visando com isso facilitar a comparação entre os resultados obtidos. Preparou-se um corpo de prova por vez, de forma estática, com áreas de 60 cm², 40 cm² e 20 mm de altura dentro dos próprios anéis de ensaio. Em seguida, colocou-se na célula e realizou-se o ajuste da prensa e do extensômetro. E assim, iniciou-se o acompanhamento das deformações iniciais e a introdução de água destilada, que ao longo de todo o ensaio é colocada de tal forma que se diminua ou impeça a permanência de bolhas dentro da célula.

Nos ensaios de expansão livre medem a variação de espessura da amostra, em percentual, fazendo-se uma relação entre a sua altura inicial e final, quando é colocada dentro de um recipiente com água. O ensaio prossegue até que se estabeleça uma constância de leitura do extensômetro. A constância de leitura no extensômetro é obtida, geralmente, em torno de 24h, o que foi verificado nos ensaios realizados.

A tensão de expansão foi avaliada pelo meio a volume constante. Neste caso, o corpo de prova é inundado e a medida que o solo aumenta de volume uma carga é colocada para combater esta variação. A soma das sobrecargas colocadas ao longo no ensaio gera a tensão de expansão para aquele solo a um volume constante. O peso total, considerando a razão aproximada de 1:10 entre contrapeso aplicado e a força resultante sobre o corpo de prova, dividida pela sua área, é a pressão de expansão, lembrando que foram adicionados sempre 5 kPa, oriundo ao peso próprio da pedra porosa e da placa superior da célula.

Figura 12 - Ensaio de Tensão de Expansão e Expansão Livre.



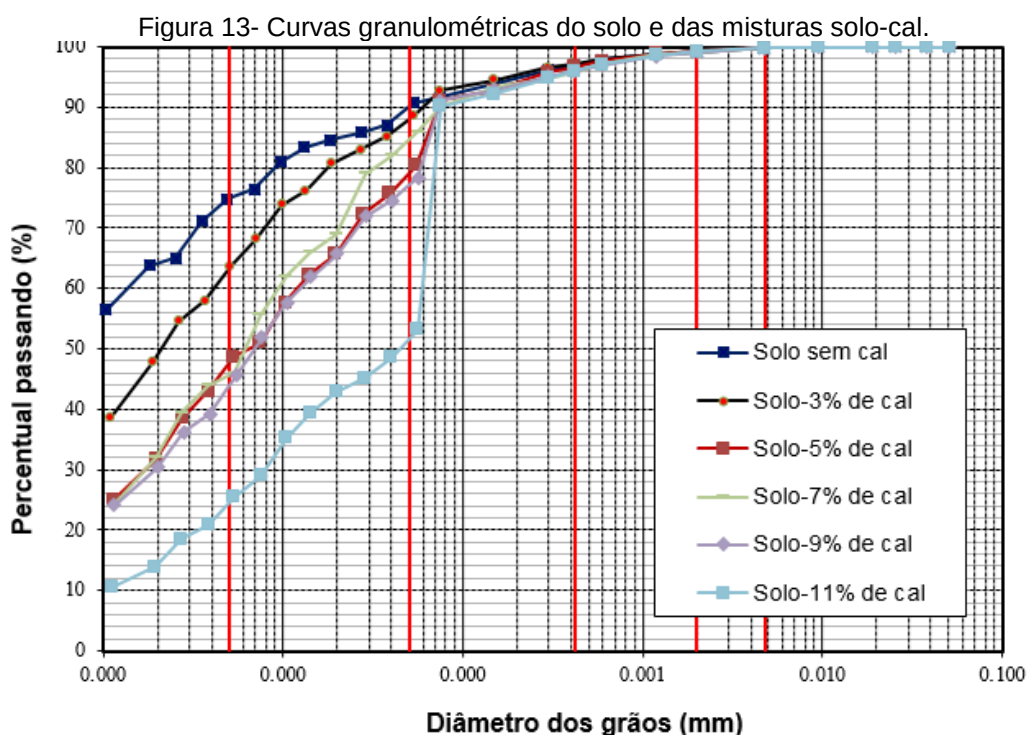
(FONTE: Autor)

4.RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Mistura solo-cal

4.1.1 Caracterização física do solo e solo-cal – Granulometria

A Figura 13 apresenta as curvas granulométricas do solo e das misturas de solo-cal. Observa-se que a adição de cal ao solo, aumentou a porcentagem de siltes e areia e a presença de argila diminuiu. Isso pode ser explicado pelo fato de que, imediatamente após a mistura solo-cal já começa a ocorrer as trocas catiônicas, e ela proporciona uma diminuição na espessura da camada dupla difusa e em consequência disso as partículas de argilas tendem a se estabilizarem e a repulsão entre elas se torna menor, então por força de atração elas se aglomeraram provocando a floculação das partículas, proporcionando um aumentando nas dimensões dos grãos de argila. Este resultado foi similar ao de SILVA JUNIOR (2010) e também ao de BARBOSA (2013) que ao estudarem argilas expansivas também constatarem este aumento no percentual de partículas mais grossas.



(FONTE: Autor)

O solo natural apresentou uma quantidade de argila alta, ao acrescentar 3% de cal no solo esta porcentagem de argila diminuiu e a de silte aumentou, o comportamento das curvas de 5%, 7% e 9% foram bem parecidos, porém ainda dá

para se perceber pequenas modificações na quantidade de finos do solo e por fim o acréscimo de 11% de cal ao solo proporcionou uma notável diferença entre a presença de argila e a de silte. De acordo com a literatura, um solo passível de ser estabilizado através da adição de cal é aquele cuja fração de diâmetro inferior a 0,075mm é igual ou superior a 25% e cujo IP é igual ou superior a 10%, (SILVA, 2010) apud (BARBOSA, 2013). Estas informações podem ser observadas de uma melhor forma na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise granulométrica do solo.

	Solo Natural	Solo com adição de 3% de cal	Solo com adição de 5% de cal	Solo com adição de 7% de cal	Solo com adição de 9% de cal	Solo com adição de 11% de cal
Argila (%)	74	63	48	46	44	25
Silte (%)	16	25	31	38	33	27
Areia fina (%)	6	9	18	12	19	44
Areia média (%)	3	2	2	3	3	3
Areia grossa (%)	1	1	1	1	1	1
Pedregulho (%)	0	0	0	0	0	0
Partículas < 0,002 mm (%)	64	48	32	32	30	14

(FONTE: Autor)

Conforme definição da maioria das classificações de solos expansivos (CHEN, 1998) o solo analisado possui uma característica comum a todos os solos expansivos, pois, apresenta um elevado percentual de partículas menores do que 0,002 mm (64%), conforme pode ser visto na Tabela 6.

4.1.2 Limites de Attenberg

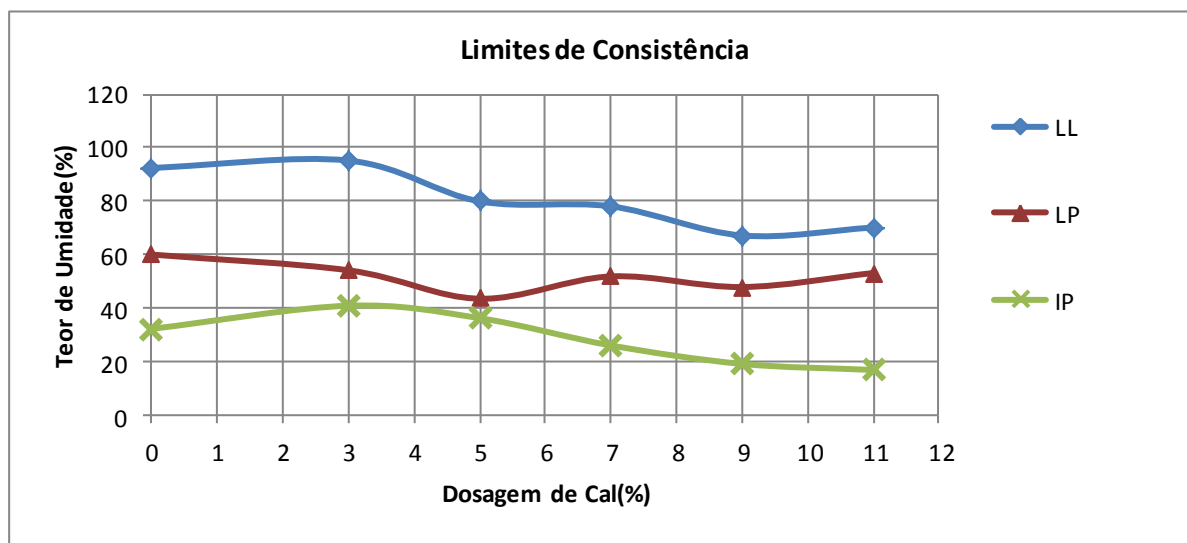
Foi observado através da obtenção dos valores de LL, LP e IP, que o limite de liquidez foi elevado, mas o limite de plasticidade também aumentou, proporcionando uma diminuição do índice de plasticidade, o que pode ser observado na Tabela 7 e Figura 14.

Tabela 7 - Resultados dos Limites de Attenberg.

Teor de água	Solo	Solo com adição de 3% de cal	Solo com adição de 5% de cal	Solo com adição de 7% de cal	Solo com adição de 9% de cal	Solo com adição de 11% de cal
Limite de Liquidez (%)	92,47	95,2	79,96	78,1	67,23	70,2
Limite de Plasticidade (%)	60,1	54,21	43,61	51,94	47,97	53,2
Índice de Plasticidade (%)	32,37	40,99	36,35	26,16	19,26	17

(FONTE: Autor)

Figura 14 - Variação do teor de água com o teor de cal adicionado ao solo.



(FONTE: Autor)

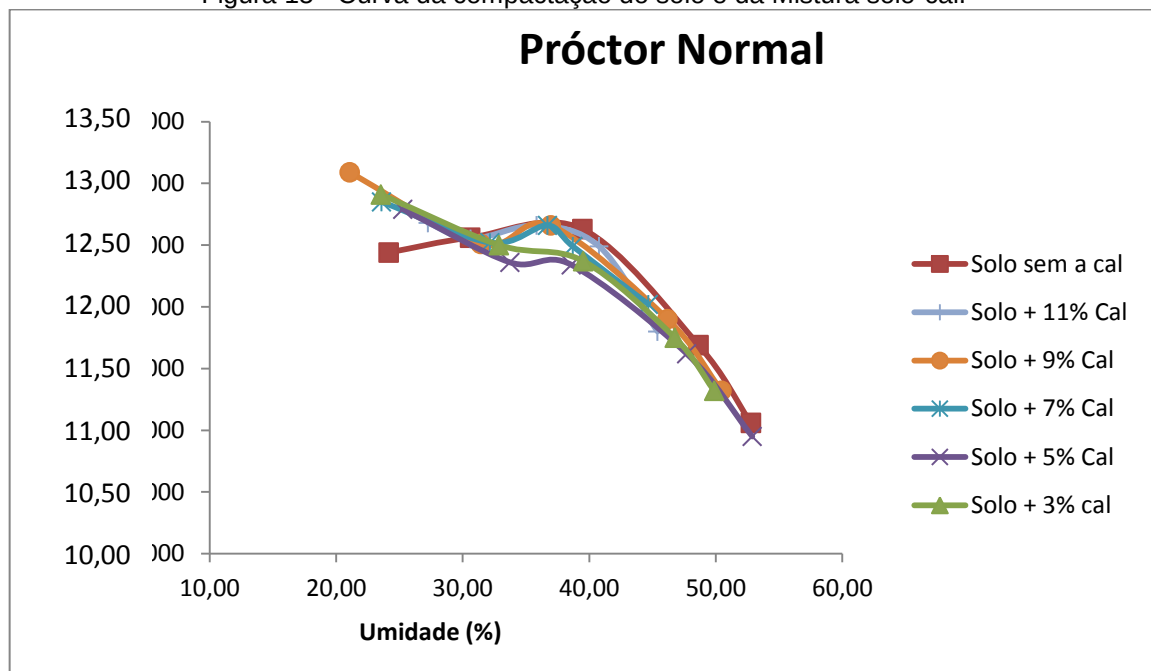
O potencial de inchamento do solo está ligado à plasticidade do mesmo, portanto quanto menor o índice de plasticidade, menor é o potencial de expansão do solo.

4.1.3 Resultados dos ensaios de compactação

A Figura 15 apresenta as curvas dos ensaios de compactação do solo e das misturas solo-cal. As curvas apresentaram valores bem próximos de umidade. Para uma mesma energia de compactação, ocorreu uma diminuição da massa específica aparente seca máxima com o acréscimo de cal pela dificuldade em quebrar as agregações. Pois a adição da cal promove um aumento na floculação, que aumenta a quantidade e o tamanho dos vazios no solo, o que implica na necessidade de mais água para a sua ocupação, contribuindo também para a diminuição da massa específica aparente seca máxima. Na Figura 16, é possível observar essa diminuição na massa específica aparente seca máxima, embora existam pequenas variações para mais, consequente da imprecisão pertinente à própria metodologia do ensaio. Isto pode ser observado entre os pontos 5% e 7% de cal, tais distorções são causadas por variáveis que afetam a precisão dos ensaios, como o tempo de cura, o operador do ensaio, se o solo foi quarteado para sua melhor homogeneização, a temperatura ambiente que o ensaio foi realizado, a temperatura da estufa, o acondicionamento do solo, entre outros.

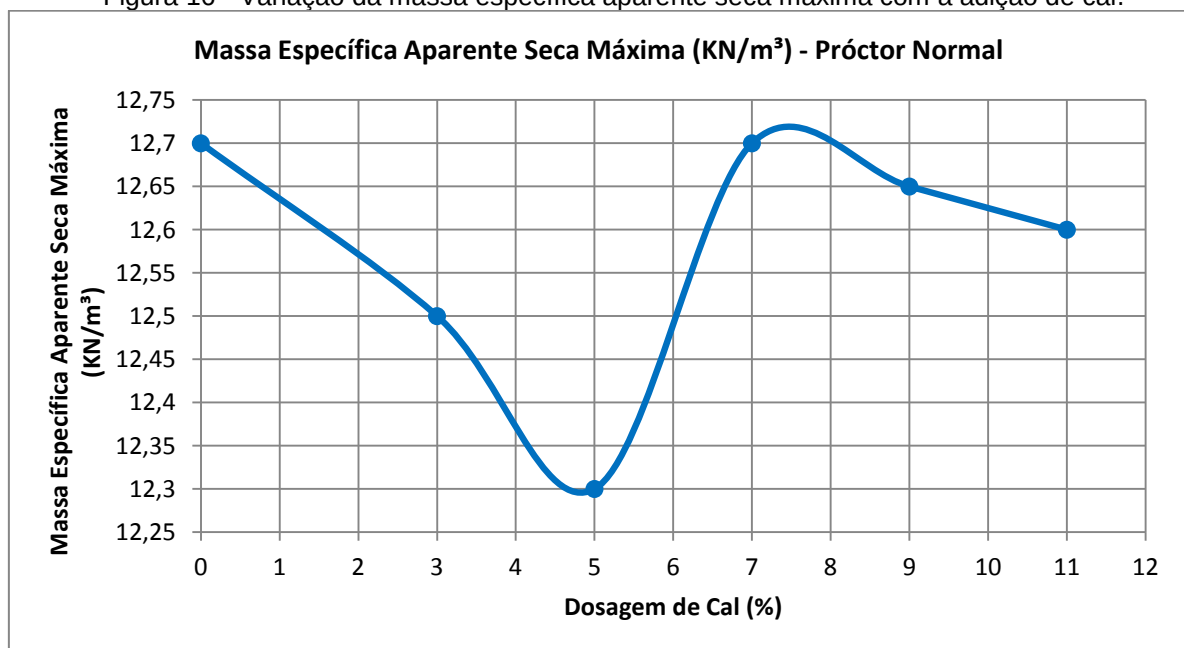
Na Figura 17, observa-se um comportamento da umidade ótima de diminuição a 3% e cresce com o aumento do teor de cal, embora existam pequenas variações para menos, também advindas da imprecisão causada pela sistematização do ensaio. A partir do teor de cal de 5% de cal, é possível observar a elevação de umidade ótima embora que sucinta devido ao pequeno tempo de cura.

Figura 15 - Curva da compactação do solo e da Mistura solo-cal.



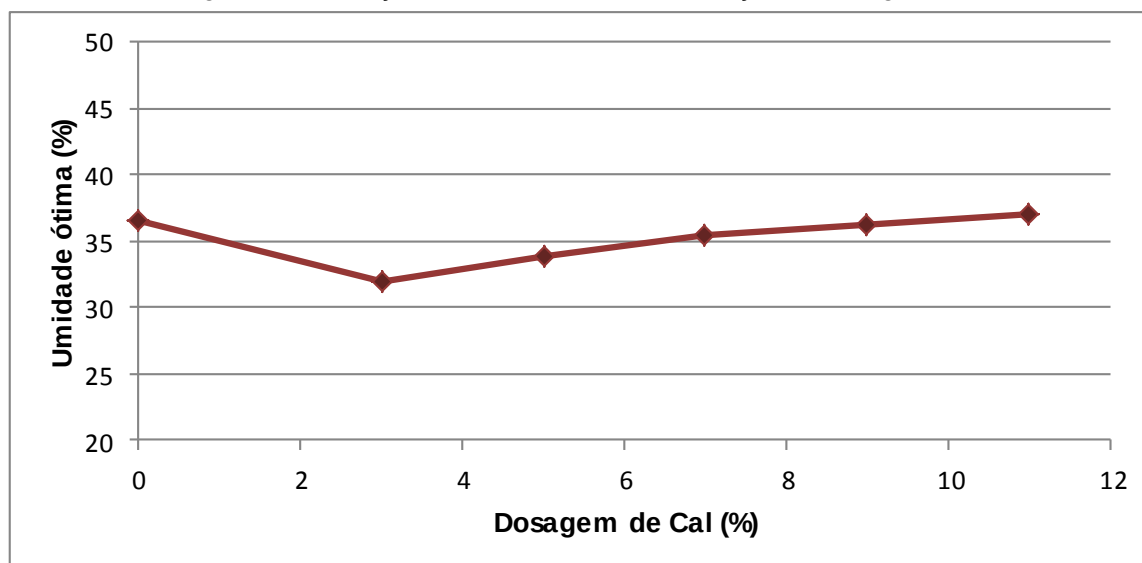
(FONTE: Autor)

Figura 16 - Variação da massa específica aparente seca máxima com a adição de cal.



(FONTE: Autor)

Figura 17 - Variação da umidade ótima em relação as dosagens de cal.



(FONTE: Autor)

4.1.4 Expansão livre e Tensão de Expansão – Cal

Nas Figuras 18 e 19 apresentam os resultados dos ensaios de potencial de expansão e de tensão de expansão. É possível observar que com o uso da cal promove a diminuição da tensão de expansão e da porcentagem de expansão livre a medida que aumenta o teor de cal. Comprovando que a reação da cal com o solo potencialmente expansivo inundado promove a inibição do processo de expansão dado pela reação dos argilominerais expansivos com água.

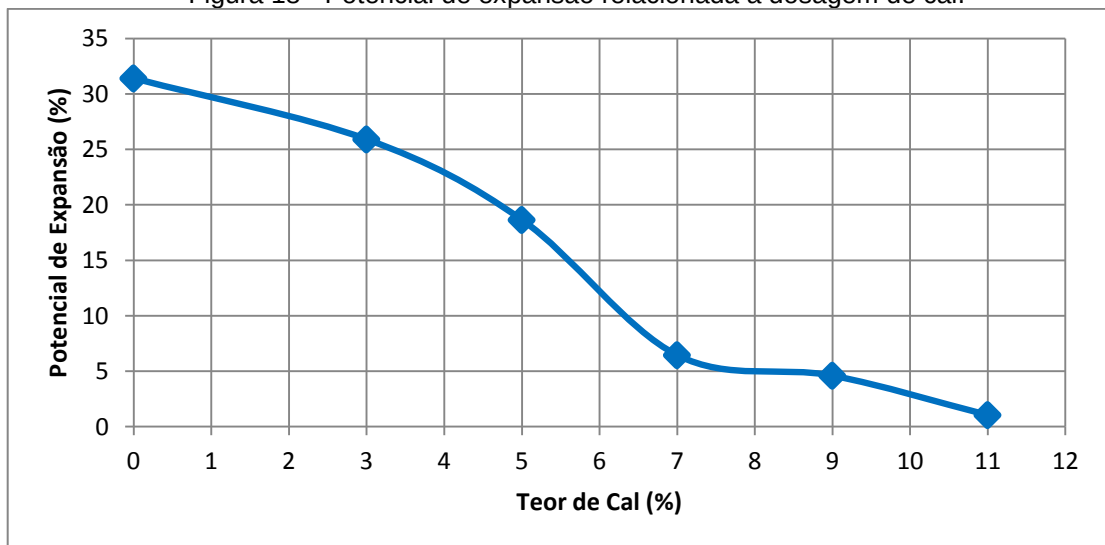
Para o solo sem a cal determinou-se um potencial de expansão de 31,4% e uma tensão de expansão de 119,17 kPa. Observou-se em relação ao solo sem a cal, a partir de 3%, uma diminuição do potencial de expansão e da tensão de expansão. Destaca-se que para o teor de 11% de cal, praticamente eliminou a expansão e reduziu a pressão de expansão para 2,5 kPa, tabela 8.

Tabela 8 - Teores de Cal relacionados com o percentual de expansão livre, tensão de expansão, umidade ótima e peso específico aparente máximo.

Amostra	Expansão Livre (%)	Tensão de Expansão (kPa)	Umidade Ótima (%)	Peso Específico Aparente Máx (kN/m ³)
11% cal	1,05	2,5	37	12,6
9% cal	4,6	15	36,2	12,65
7% cal	6,45	38	35,5	12,7
5% cal	18,64	68,75	33,8	12,3
3% cal	25,9	106,67	32	12,5
0% cal	31,4	119,17	36,5	12,7

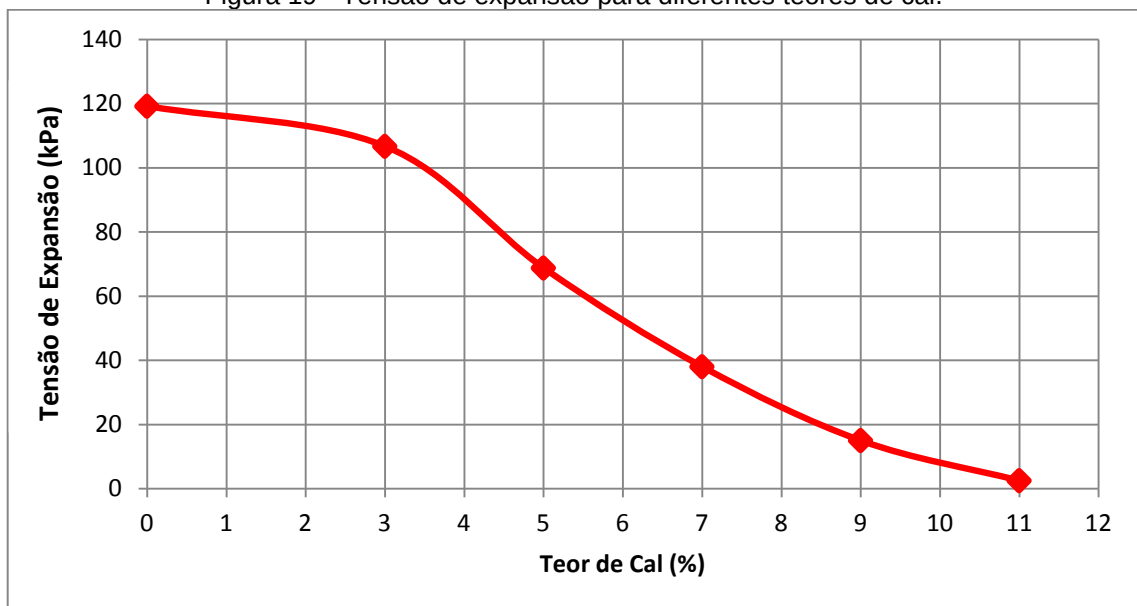
(FONTE: Autor)

Figura 18 - Potencial de expansão relacionada à dosagem de cal.



(FONTE: Autor)

Figura 19 - Tensão de expansão para diferentes teores de cal.



(FONTE: Autor)

Pode-se explicar a redução no potencial de expansão e na tensão de expansão para teor de cal igual ou superior a 3%, até 11%, pelos seguintes fatores:

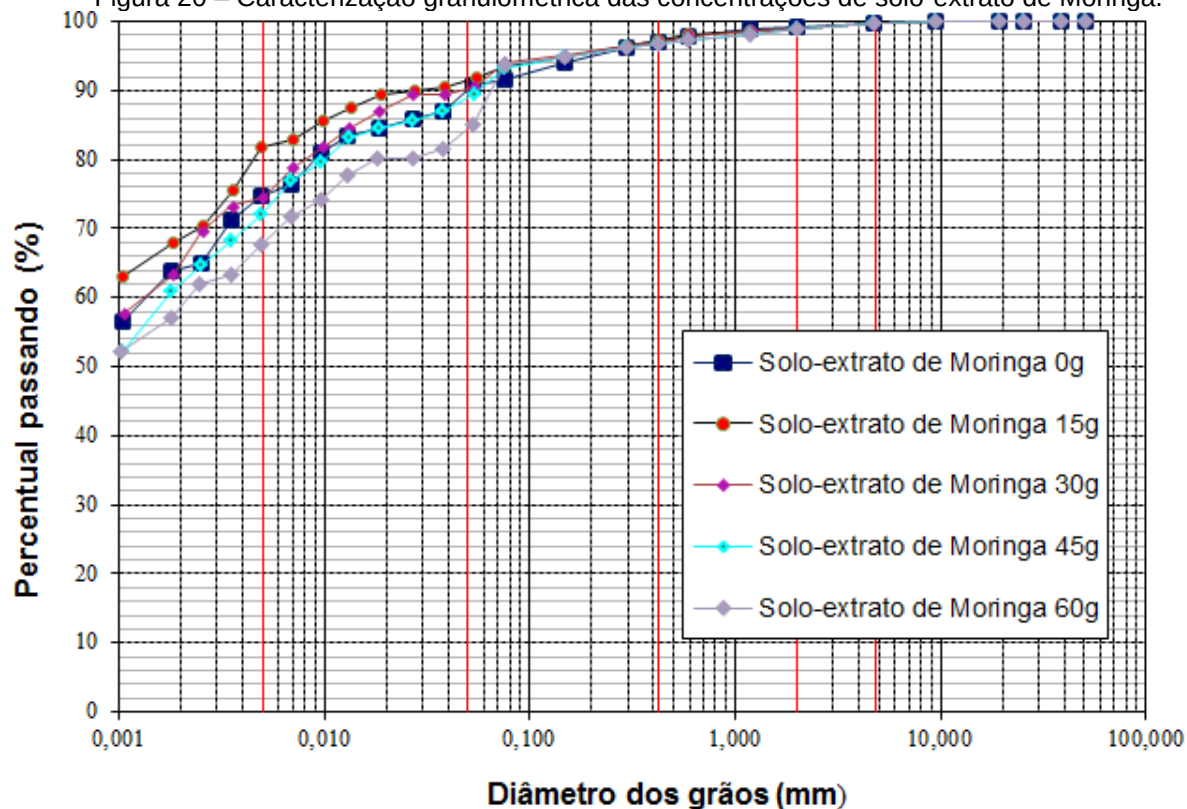
- a. A redução na massa específica aparente seca contribui para que as partículas tenham menores forças de repulsão. Logo, a tensão de expansão resultante, considerando corpos de prova moldados com umidades ótimas e as mesmas energias de compactação, sofrerá redução (SILVA JUNIOR, 2010).
- b. A adição da cal contribui para que o solo tenha menos afinidade por água, o que diminui a quantidade de água disponível para equilibrar a excesso de carga elétrica negativa da superfície do mineral expansivo.
- c. A cal fornece cátions para equilibrar a superfície do argilomineral e, conseqüentemente, diminuir a espessura da camada dupla difusa, diminuindo a presença de água (SILVA JUNIOR, 2010).
- d. A elevação da umidade ótima contribui para que o solo já inicie o fenômeno de expansão a partir de umidade mais elevada, bem como com menor sucção, diminuindo o potencial de expansão. Todavia, tal fato não está relacionado à diminuição da pressão de expansão, conforme apresentado por CHEN (1988) apud SILVA JUNIOR (2010).

4.2 Mistura solo-extrato de Moringa

4.2.1 Caracterização física do solo-extrato de Moringa – Granulometria e Limites de Attenberg

As curvas granulométricas do solo com o extrato de moringa são apresentadas na Figura 20 e as frações do solo na Tabela 9.

Figura 20 – Caracterização granulométrica das concentrações de solo-extrato de Moringa.



(FONTE: Autor)

É possível deduzir que a adição de Moringa ao solo, aumentou a porcentagem de silte e areia e a presença de argila diminuiu (exceto para o percentual de 0,83%), assim como ocorreu na utilização da cal, porém de forma menos efetiva. Isto é devido a capacidade da mistura de reagir com a água, proporcionando a floculação, troca de cátions e aglutinação das pequenas partículas.

Tabela 9 – Análise comparativa da granulometria do solo com as concentrações de extrato de Moringa.

	Solo Puro	Solo com adição de 0,83% de Moringa	Solo com adição de 1,66% de Moringa	Solo com adição de 2,5% de Moringa	Solo com adição de 3,33% de Moringa
Argila (%)	74	82	75	72	69
Silte (%)	16	9	15	17	17
Areia fina (%)	6	6	7	7	11
Areia média (%)	3	2	2	3	2
Areia grossa (%)	1	1	1	1	1
Pedregulho (%)	0	0	0	0	0
Partículas < 0,002 mm (%)	64	68	65	62	59

(FONTE: Autor)

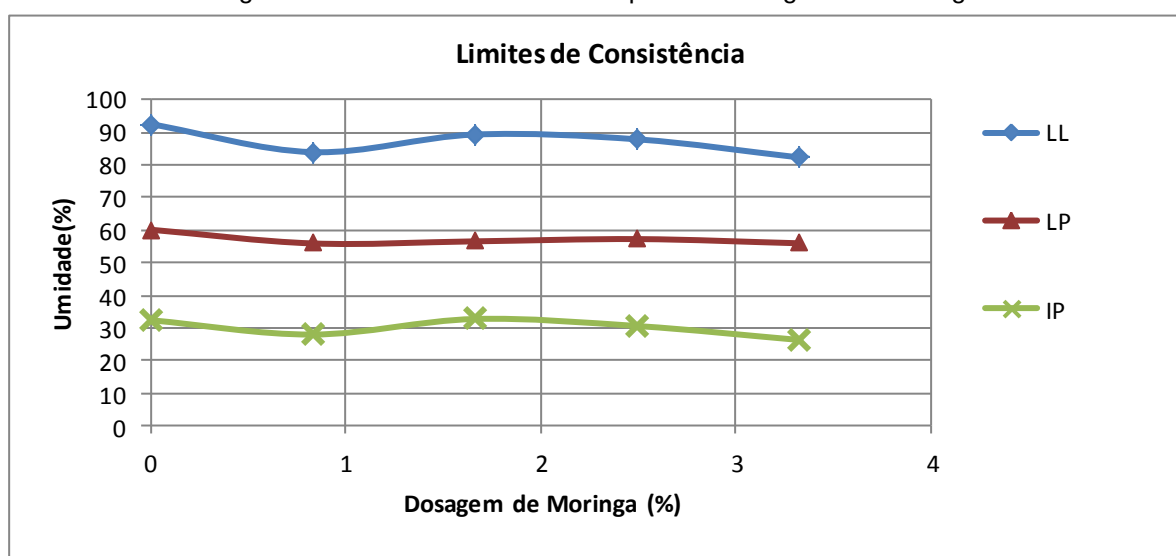
Observa-se que o limite de liquidez foi elevado assim como o limite de plasticidade, ocorrendo uma diminuição do índice de plasticidade. A adição de Moringa ao solo causa variação do limite de liquidez e plasticidade como mostra os valores apresentados na Tabela 10 e Figura 21. Há uma diminuição em relação ao solo natural. Verifica-se que o índice de plasticidade diminui para todos os acréscimos da mistura solo-extrato de Moringa, tendo comportamento similar do solo-cal.

Tabela 10 - Resultados dos Limites de Atterberg

Teor de água	Solo	Solo com adição de 0,83% de	Solo com adição de 1,66% de	Solo com adição de 2,5% de	Solo com adição de 3,33% de
Limite de Liquidez (%)	92,47	83,87	89,26	87,78	82,22
Limite de Plasticidade (%)	60,1	55,9	56,53	57,22	55,93
Índice de Plasticidade (%)	32,37	27,97	32,73	30,56	26,29

(FONTE: Autor)

Figura 21 – Limite de consistência para as dosagens de Moringa.



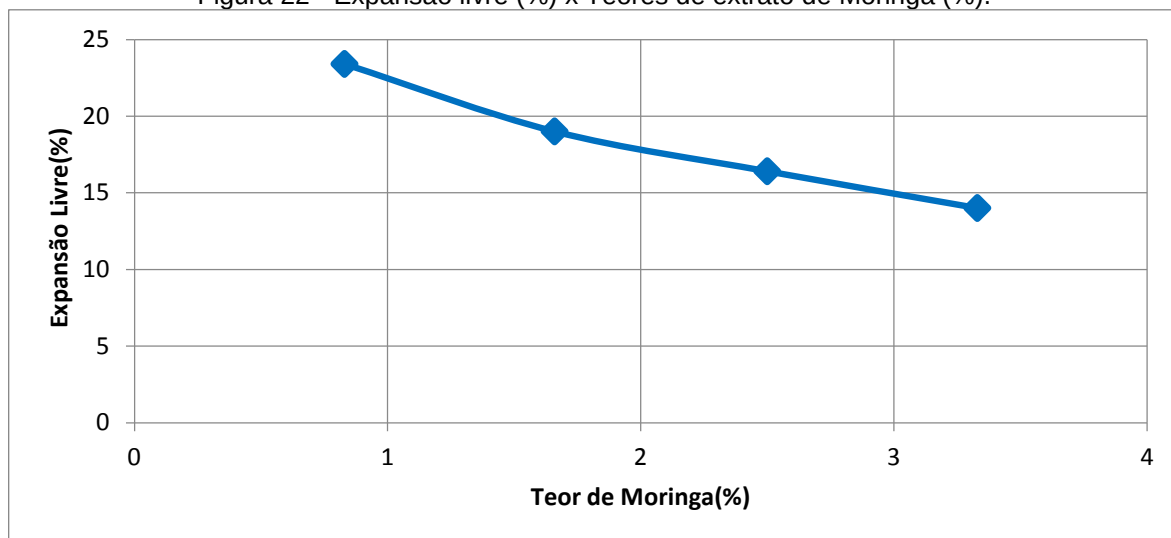
(FONTE: Autor)

4.2.2 Expansão livre e Tensão de Expansão – Extrato da semente de Moringa Oleífera Lam

Pouco se sabe na literatura sobre o comportamento das sementes de Moringa Oleíferas Lam relacionados a estabilização de solos expansivos. Neste trabalho foram realizados os ensaios edométricos para avaliar a expansão livre, Figura 22 e de tensão de expansão a volume constante, Figura 23, para poder analisar qual o comportamento desta semente neste tipo de solo. A partir dos resultados obtidos

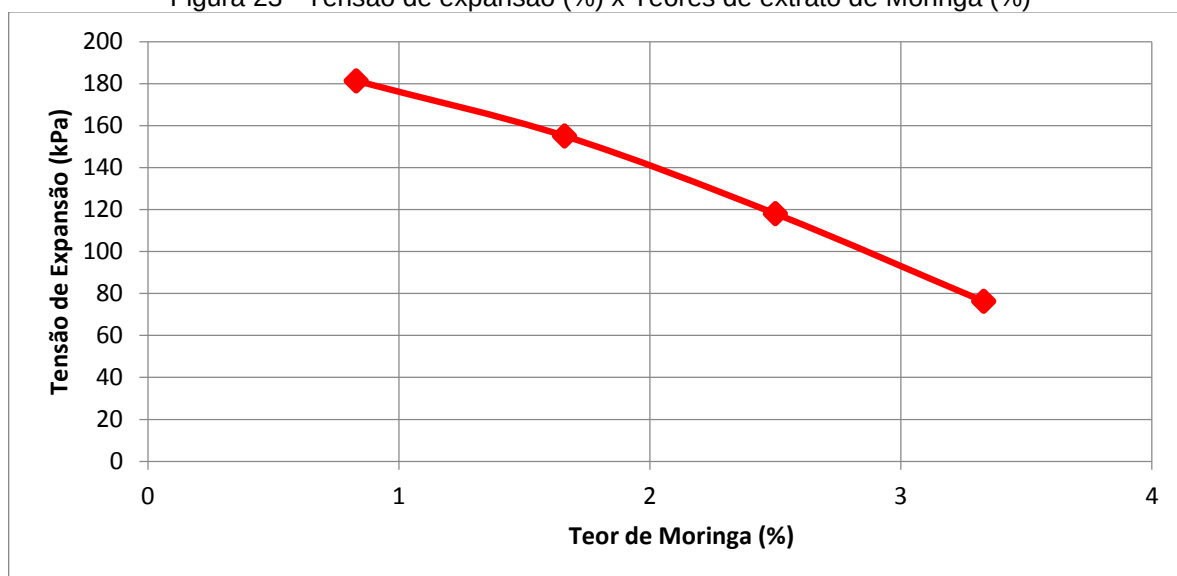
pode-se perceber uma tendência na estabilização do solo a medida que a concentração do extrato da semente de Moringa aumenta.

Figura 22 - Expansão livre (%) x Teores de extrato de Moringa (%).



(FONTE: Autor)

Figura 23 - Tensão de expansão (%) x Teores de extrato de Moringa (%)



(FONTE: Autor)

Verifica-se que as concentrações do extrato de Moringa utilizado nos ensaios não reduziram a zero a expansão livre e a tensão de expansão. Entretanto verifica-se que o acréscimo da concentração do extrato de Moringa reduz a expansão livre e a tensão de expansão.

Os resultados aqui obtidos indica que os estudos dessa pesquisa deve ser continuada para consolidar as observações aqui obtidas.

4.3 Resumo dos Resultados

Nas Tabela 11 e Tabela 12, sintetizam os resultados obtidos em todos os ensaios do solo natural, das misturas solo-cal e das misturas solo-extrato de Moringa.

Tabela 11 - Resumo dos resultados dos ensaios realizados com o solo puro e da mistura solo-cal.

	Solo Natural	Solo com adição de 3% de cal	Solo com adição de 5% de cal	Solo com adição de 7% de cal	Solo com adição de 9% de cal	Solo com adição de 11% de cal
Argila (%)	74	63	48	46	44	25
Silte (%)	16	25	31	36	33	27
Areia fina (%)	6	9	18	14	19	44
Areia média (%)	3	2	2	3	3	3
Areia grossa (%)	1	1	1	1	1	1
Pedregulho (%)	0	0	0	0	0	0
Partículas < 0,002 mm (%)	64	48	32	32	30	14
Limite de Liquidez (%)	92,47	95,2	79,96	78,1	67,23	70,2
Limite de Plasticidade (%)	60,1	54,21	43,61	51,94	47,97	53,2
Índice de Plasticidade (%)	32,37	40,99	36,35	26,16	19,26	17
Densidade Real dos Grãos (g/m ³)	2,813	2,748	2,758	2,699	2,747	2,99
Umidade Ótima (%)	36,5	32	33,8	35,5	36,2	37
Peso Específico aparente seco máx (kN/m ³)	12,7	12,5	12,3	12,7	12,65	12,6
Expansão Livre (%)	31,4	25,9	18,64	6,45	4,6	1,05
Tensão de Expansão (kPa)	119,17	106,67	68,75	38	15	2,5

(FONTE: Autor)

Tabela 12 - Resultados de expansão livre e tensão de expansão para teores de extrato de moringa.

	Solo Natural	Solo com adição de 0,83% de Moringa	Solo com adição de 1,66% de Moringa	Solo com adição de 2,5% de Moringa	Solo com adição de 3,33% de Moringa
Argila (%)	74	82	75	72	69
Silte (%)	16	9	15	17	17
Areia fina (%)	6	6	7	7	11
Areia média (%)	3	2	2	3	2
Areia grossa (%)	1	1	1	1	1
Pedregulho (%)	0	0	0	0	0
Partículas < 0,002 mm (%)	64	68	65	62	59
Limite de Liquidez (%)	92,47	83,87	89,26	87,78	82,22
Limite de Plasticidade (%)	60,1	55,9	56,53	57,22	55,93

Índice de Plasticidade (%)	32,37	27,97	32,73	30,56	26,29
Densidade Real dos Grãos (g/m ³)	2,813	2,703	2,74	2,809	2,89
Expansão Livre (%)	31,4	23,4	19	16,4	14
Tensão de Expansão (kPa)	119,17	181,25	155	118	76,25

(FONTE: Autor)

Diante dos resultados obtidos foi possível aferir que ocorre uma tendência no comportamento dos valores obtidos nos ensaios realizados. A mistura solo-cal e a mistura solo-extrato de Moringa apresentaram comportamentos similares, onde se observou um mesmo direcionamento no crescimento e decréscimo nos ensaios realizados.

5. CONCLUSÕES

Através das discussões e análises dos resultados dos ensaios realizados pode-se ter neste estudo as seguintes conclusões:

1. a adição de Cal eleva o percentual de partículas de textura mais grossa, ou seja, aumenta a fração de silte e areia fina, isto ocorre devido a ação química que ocorre na mistura do solo-cal e solo-extrato de Moringa, a troca catiônica, que reduz espessura do espaçamento entre as camadas e, assim, levando a floculação do material;
2. ocorre uma redução do potencial de expansão e da tensão de expansão do solo com a adição de cal, pois reduz a deficiência de carga elétrica positiva do argilomineral, portanto, induz a uma diminuição da afinidade do solo por água, promovendo diminuição do processo expansivo;
3. há uma diminuição do índice de plasticidade nas misturas solo-cal e solo-extrato de Moringa com o acréscimo de cal e de Moringa, causado pela diminuição da afinidade do mineral expansivo por água e íons, levando à redução da expansão e alteração da plasticidade do solo. Essa diminuição na plasticidade no solo pode ser correlacionada à redução do potencial expansivo e da tensão de expansão do solo;
4. o teor de 11% de cal adicionado ao solo praticamente eliminou o potencial de expansão e a tensão de expansão, estabilizando mecanicamente o solo, esse valor é superior ao valor recomendado por Eudes e Grim (1966) (7%) para estabilização química do solo;

5. os resultados preliminares obtidos com a utilização do extrato da semente de Moringa adicionada ao solo expansivo indicaram serem promissores para a sua estabilização requerendo mais investigação de laboratório e sua verificação experimental em campo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. B., 2003. Mapeamento Geológico da Região do Engenho Sibiró – Porto de Galinhas (Litoral Sul, PE): Contribuição à Estratigrafia e à Tectônica da Sub-bacia de Pernambuco. Relatório de Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 96 p.
- ARANTES, C. C. et al, 2015. Diferentes formas de aplicação da semente de Moringa Oleifera no tratamento da água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13602: Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio sedimentométrico comparativo - Ensaio de dispersão SCS - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1988.
- BARBOSA, V., 2013. Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de Cabrobó, potencialmente expansivo, estabilizado com cal. Dissertação (Mestrado) do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 111 p
- CHEN, F. H., 1988. Foundation on Expansive Soils, New York: Elsevier, 463 p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). (2016) - Serviço Geológico do Brasil. < Disponível: www.cprm.gov.br/ > Acesso em 20 de janeiro de 2016.
- Eades. J. L. e Grim, R. E. (1966). A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. Highway Research Record, Washington, D.C., n 139, p.61-72.
- FERREIRA, S. R. M., 1995. Colapso e expansão de solos naturais não saturados devido à inundação. Tese (Doutorado) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 401 p.
- FERREIRA, S. R. M.; AMORIN, S. F.; SILVA, M.A.V., 2008. Tecnologia da geoinformação aplicada aos estudos de solos expansivos e colapsíveis do estado de Pernambuco. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Informação.

LIMA, M. A. A. 2014. Avaliação da expansividade de um solo argiloso de Suape estabilizado com cal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco.

LOVATO, R. S., 2004. Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 144 p.

VARGAS, Milton (Edit). Introdução à Mecânica dos Solos. 1. Ed. Mcgraw Hill, 1978.

OLIVEIRA, Z. L., 2010. Avaliação do uso da moringa oleífera lam para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Dissertação (Mestrado) do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 142 p

SILVA JUNIOR, M. A. M., 2010. Propriedades geotécnicas de expansão de um solo argiloso compactado com e sem adição de cal. Dissertação (Mestrado) do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 82 p