



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

A INFLUÊNCIA DOS CONTAMINANTES NA MUDANÇA DAS PROPRIEDADES DO SOLO

Magno Dourado Batista¹; Leonardo Ramos da Silveira²

RESUMO

O foco da pesquisa foi verificar como a interação solo-líquido de inundação irá produzir possíveis potenciais de deformação. Foram realizados ensaios de caracterização geotécnica de solos, além dos ensaios de compressão edométrica, limites de Atterberg, granulometria e expansão livre nos solos com diferentes líquidos de inundação, sendo eles: esgoto bruto, água destilada, soluções preparadas à base de água destilada com detergente 15%; chorume 15%; e sabão em pó 15%. Quando contaminado com detergente, chorume, sabão em pó e água sanitária houve um aumento de 34% para 35,23%, 36,01%, 35,87% e 36,03% respectivamente, no ensaio de Limite de Liquidez (LL), enquanto no Limite de Plasticidade (LP) houve um decréscimo de 23,66% para 23,01%, 20,9%, 21,76% e 20,98% respectivamente. Com o esgoto os resultados foram de 34,48% para LL e de 24,8% para LP. Essas alterações nos limites de Atterberg foram devidas as mudanças do potencial de hidrogênio (pH) do solo, a presença de sódio na água sanitária e sabão em pó, e do ácido sulfídrico presente no chorume. Já no ensaio de resistência a solução de chorume resultou em potencial de colapso de 11,61%, 7,42% a mais que o da água destilada; a solução de detergente o potencial de colapso apresentou-se igual a 11,52%, 7,33% também superior ao da água destilada; com a solução de água sanitária apresentou potencial de colapso igual a 11,06%, 6,87% superior ao da água destilada e solução de sabão em pó resultou em potencial de colapso de 9,42%, 5,23% a mais que o da água destilada.

Palavras-chave: Compactação dos solos; Influência dos líquidos de inundação; Deformações de solos.

THE CONTAMINANTS' INFLUENCE ON THE CHANGE OF THE SOILS PROPERTIES

ABSTRACT

The focus of the research was to verify how the soil-liquid interaction of flood will produce possible deformation potential. Soil geotechnical characterization tests were carried out in addition to edometric compression tests, Atterberg limits, granulometry and free expansion in soils with different flooding liquids: raw sewage, distilled water, solutions prepared with distilled water with detergent 15%; Manure 15%; And 15% soap powder. When the amount of detergent, slurry, soap and bleach was increased from 34% to 35.23%, 36.01%, 35.87% and 36.03%, respectively, , While in the Plasticity Limit (LP) there was a decrease from 23.66% to 23.01%, 20.9%, 21.76% and 20.98%, respectively. With sewage the results were 34.48% for LL and 24.8% for LP. These changes in the Atterberg boundaries were due to changes in the hydrogen potential (pH) of the soil, the presence of sodium in the bleach and soap powder, and the hydrogen sulphide present in the manure. In the resistance test, the slurry solution resulted in a potential collapse of 11.61%, 7.42% more than that of distilled water; The detergent solution showed the potential of collapse equal to 11.52%, 7.33% higher than that of distilled water; With the solution of bleach presented a potential of collapse equal to 11.06%, 6.87% higher than that of distilled water and solution of soap powder resulted in potential collapse of 9.42%, 5.23% a More than that of distilled water.

Key words: Soil compaction; inundation liquids influence; Soil deformation.

¹ Engenheiro Civil pela Universidade Paulista Campus Brasília, Mestrando em Integridade de Materiais da Engenharia pela UNB, magnodouradob@gmail.com.

² Doutor em Geotecnia pela Universidade de Brasília, professor do Instituto Federal de Goiás – Campus

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial crescente, causado pela demanda por bens de consumo associada ao crescimento populacional, tem gerado quantidades expressivas de resíduos, o que tem originado diversos problemas ambientais, relacionados diretamente ao tipo e porte da indústria, assim como à gestão de seus resíduos. No local da disposição dos resíduos devem-se tomar cuidados para não contaminar as águas subterrâneas com o lixiviado que é exposto ao solo. A partir desse fato os mecanismos de comando e controle tornaram-se mais frequentes.

Os RSU são destinados para lixões, aterros sanitários e aterros controlados. Por exemplo, no Brasil utiliza-se uma configuração de revestimento, feito de uma camada mineral de solo compactado (“*liner*”) para depositarem-se diretamente os RSU nos aterros sanitários. Sendo assim, os “*liners*” devem conter uma boa resistência para que não ocorra percolação dos contaminantes. Mais um motivo para o desenvolvimento de estudos complementares com comportamento do “*liner*”, com a influência da digestão da matéria orgânica que ao percolar pela camada de solo compactada poderá causar possíveis potenciais de deformação (colapso) nos lixões e aterros.

O colapso dos solos pode ser

conceituado como uma deformação que depende da metaestabilidade estrutural diante de alterações no estado de tensões, do equilíbrio eletromagnético e de ataques sobre as ligações cimentíceas dos solos. Ao umedecer um solo colapsível, por exemplo, o colapso pode ser desencadeado, devido a um desequilíbrio na estrutura que ocorre pela redução da capacidade de vinculação entre as partículas, resultando na diminuição dos mecanismos de suporte. Os solos colapsíveis apresentam algumas características que os predis põem ao fenômeno: a estrutura porosa (caracterizada por um alto índice de vazios), o grau de saturação menor que o necessário para sua completa saturação e a estrutura metaestável (RODRIGUES, 2003).

Muitos casos de colapso têm sido associados a vazamentos oriundos das redes de esgotos e de abastecimento de água, ou a vazamentos de sistema de armazenamento de combustíveis e efluentes químicos. No entanto, o colapso dos solos geralmente é estudado considerando-se, apenas a sua inundação por água. Na literatura, encontram-se poucos relatos da influência do líquido, nas características colapsíveis dos solos (MOTTA; FERREIRA, 2011).

O colapso pode ser desencadeado pelo umedecimento do solo colapsível, devido a um desequilíbrio na estrutura, a qual ocorre pela redução da capacidade de vinculação entre as partículas, resultando na

diminuição de sua resistência (RODRIGUES; MOLINA JUNIOR; LOLLO, 2010).

O colapso tende a ser maior quando o solo é inundado com os líquidos de pH alcalino, porém, não foi possível atribuir a ascendência do colapso apenas ao aumento do pH, porque as soluções testadas possuíam características distintas como a composição química, a tensão superficial e a viscosidade. Concluíram que o conjunto de características físicas e químicas que envolvem os fluidos de inundação e os solos tem um papel relevante na compreensão do fenômeno do colapso, tornando-se discutível, devido à sua complexidade, informações que atribuem o colapso a um ou outro fenômeno somente (RODRIGUES; LOLLO, 2007).

Torna-se necessário o desenvolvimento de estudos para analisar a mudança do comportamento do solo em meio a diferentes líquidos de inundação, tendo em vista verificar a colapsibilidade como um problema mecânico, principalmente quando o colapso ocorre pela ação direta de contaminantes. Este fato, aliado aos possíveis prejuízos ambientais que ocorrem com a propagação do colapso, sugere a inserção de pesquisas que tratam de assuntos similares a este.

2.MATERIAIS E MÉTODOS

Este item apresenta as metodologias

aplicadas para a caracterização e classificação dos materiais para elaboração desse trabalho de conclusão de curso.

Foram realizados alguns ensaios de compatibilidade com o solo contaminado, sendo eles: determinação do pH, granulometria e expansão livre. Foram realizados experimentos de verificação da variação da deformação do solo que interage com a contaminação, sendo ele: adensamento. Os experimentos foram realizados no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília e no laboratório de Solos e Materiais de Construção Civil da Universidade Paulista de Brasília.

2.1 Solos da área de estudo

Inicialmente foram realizadas as coletas do solo para os ensaios de classificação com o objetivo de conhecer os solos locais, localizado na 204 Asa Norte Brasília – DF.

2.2 Esgoto utilizado e Chorume

As amostras de esgoto bruto foram coletadas na CAESB da Asa Sul Distrito Federal, onde recebe o Tratamento de Remoção biológica de nutrientes mais Polimento Final (Lodos ativados a nível terciário). O chorume (lixiviado) foi coletado no aterro controlado do Jóquei Clube de Brasília.

2.3 Determinação da Umidade Higroscópica

Quando certa quantidade de solo é coletada e deixada secar ao ar, obviamente o seu teor de umidade tenderá a se reduzir. Entretanto, essa redução normalmente se dá até certo limite, ou seja, mesmo que se deixe a amostra secar por um longo período, sempre permanecerá uma umidade residual. Essa umidade, que o solo exibe quando seco ao ar, é denominada umidade higroscópica.

Foram separadas 3 cápsulas para a determinação da umidade, entretanto esse número não é fixo. A norma prevê que sejam efetuadas pelo menos 3 e normalmente 5 determinações por amostra de solo.

2.4 Análise Granulométrica, Índices Físicos e Limites de Atterberg

A caracterização do material envolveu a determinação da distribuição granulométrica e massa específica real dos grãos (ρ_d), respectivamente, segundo as normas técnicas ABNT-NBR 7181/84 e ABNT 6508/84. A massa específica do solo (ρ) foi determinada a partir da massa do solo obtida em balança e do volume do corpo de prova, e o teor de umidade (w) após a secagem do material em estufa.

Os ensaios de caracterização física consistiram basicamente de umidade higroscópica (w_o) foi determinada de acordo com o ensaio preconizado pela NBR

6457 (ABNT, 1986), ensaio de compactação para obtenção da curva de compactação e a massa específica aparente seca foi determinada conforme a NBR 7182 (ABNT, 1986), obtendo-se a massa específica aparente seca para cada umidade de solo compactado de forma dinâmica, ensaio tipo Proctor Normal, gerando desta forma uma curva de compactação.

Os ensaios para a determinação dos Limites de Atterberg foram realizados conforme as normas ABNT – NBR – 6459/1984 (limite de liquidez), NBR – 7180/84 (limite de plasticidade) e o índice de plasticidade (IP, %), obtido entre a diferença entre o limite de liquidez (LL, %) e o limite de plasticidade (LP, %): $IP = LL - LP$.

2.5 Ensaio Edométrico

Para o ensaio edométrico simples foram moldadas amostras compactadas na energia proctor normal. Os corpos de prova foram saturados na prensa de adensamento com os líquidos propostos: esgoto bruto, água (H₂O) destilada, soluções preparadas à base de H₂O foram: água sanitária 15%, detergente 15%, sabão em pó 15% e chorume 15% a qual serviu como parâmetro comparativo entre os líquidos utilizados.

Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos da norma NBR 3336 (ABNT, 1990). Os

carregamentos adotados foram de 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa e 2400 kPa, os quais foram aplicados sucessivamente, após a estabilização das leituras de deformabilidade no extensômetro.

O descarregamento foi realizado em cinco estágios, 900 kPa, 600 kPa, 300 kPa, 100 kPa e 0. Destaca-se que o contaminante que foi utilizado para obtenção da umidade ótima de compactação foi o mesmo utilizado para a inundação na célula de adensamento. Os valores dos potenciais de deformação ($PDPD$) foram calculados utilizando-se a equação 2.1:

Sendo:

$$PD(\%) = \frac{\Delta H}{H_i} \times 100\%$$

(2.1)

Onde:

- $PD - PDPD$ é o potencial de deformação;
- $\Delta H - \Delta H_i$ é a variação da altura do corpo de prova, devido a inundação e carga;
- $H_i - H_i$ é a altura do corpo de prova, antes da inundação e carga.

Para os ensaios simples edométricos, representa graficamente a curva de compressibilidade tensão vertical $\sigma' \sigma'$, em função da variação volumétrica dada pela variação de índice de vazios devido ao umedecimento.

2.6 Compatibilidade

Os ensaios de compatibilidade, interação solo/contaminante, foram: (i) limites de Atterberg com o solo após contaminação; (ii) granulometria com os solos contaminados; e (iii) ensaio de expansão livre. Esses ensaios apontam de forma indireta as reações que ocorrem com as partículas e na microestrutura do solo. Os ensaios de expansão livre são extremamente simples de execução e oferecem uma ótima resposta quanto à compatibilidade do sistema solo-contaminante.

O sistema consiste na observação do volume ocupado pelo solo após sedimentação em proveta contendo a solução a ser estudada conforme pode ser observado na Figura 3.7. O ensaio consiste em colocar cerca de 50 mL de solo em uma proveta e adicionar o contaminante de interesse até atingir a marcar de 200 mL, agitar para que ocorra contato solo/contaminante e observar o comportamento do meio após 24 horas da mistura em repouso. O ensaio de compatibilidade foi realizado com os diferentes líquidos, com esgoto bruto, água destilada e da torneira, soluções preparadas a base de água destilada foram água sanitária 15%, detergente 15%, sabão em pó 15% e chorume 15%.

2.7 Determinação do pH

Foram efetuadas determinações de pH em água, na relação de 10 mL de solo e 25 mL de água, conforme descreve metodologia de análise de solos da Embrapa (1997). Neste caso o pH foi determinado para cada de contaminante (água sanitária, detergente, sabão em pó e esgoto), além do solo no estado natural.

3. RESULT AND DISCUSSION

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados da caracterização preliminar e

das propriedades físicas estudadas com relação às amostras deformadas. Neste item os resultados aqui discutidos são referentes ao estudo de caso realizado com solo localizado na 204 Asa Norte Brasília – DF.

3.1 Caracterização do solo

A análise granulométrica dos solos foi obtida através do processo de peneiramento e sedimentação. Os procedimentos estão de acordo com o método de ensaio “Solo Análise Granulométrica” NBR 7181/84. A Figura 1 mostra as curvas de distribuição granulométrica o realizado com e sem defloculante.

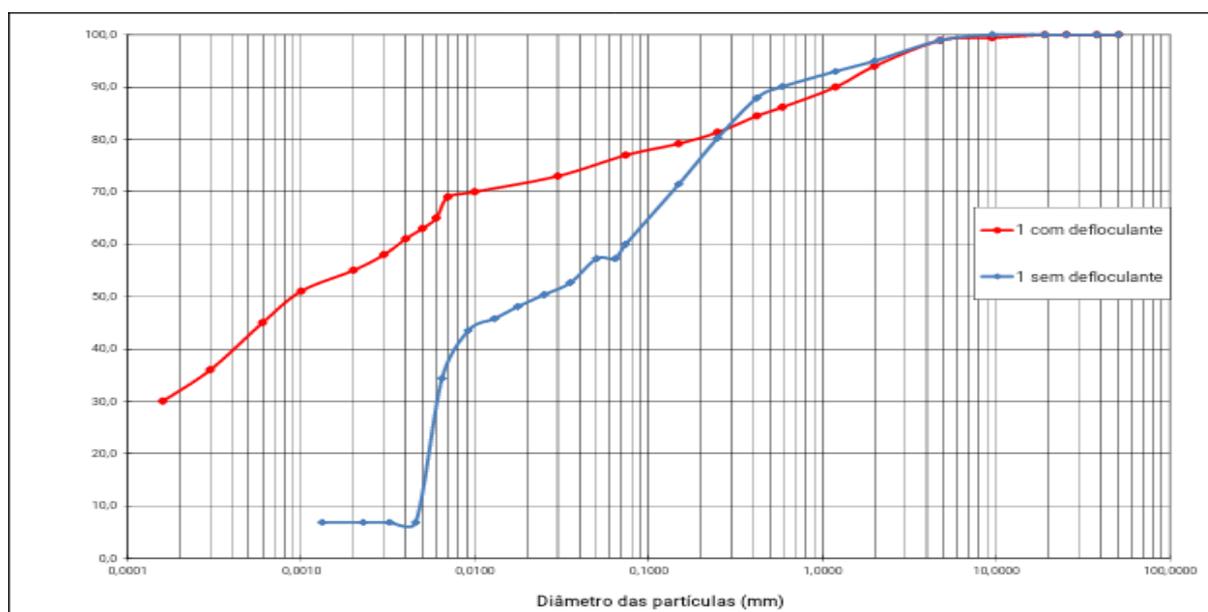


Figura 1 – Curva Granulométrica.

A partir das curvas granulométricas elaborou-se a Tabela 1 com as porcentagens passantes em cada peneira. Nota-se que quando o solo é ensaiado sem defloculante,

há uma pequena identificação da presença de pedregulho, e uma boa parte areia e argila, sendo o silte predominante com 50%. Dessa forma o solo sem defloculante

classifica-se como silte arenoso. E para o solo ensaiado com defloculante têm-se 29% de silte, 8,4% de areia grossa, 14,7 de areia média e 26% de areia fina, o que determina

uma classificação também como silte arenoso.

Tabela 1 – Resultado da análise granulométrica

Com defloculante (%)	Sem defloculante (%)	Classificação	D (mm)
0,0	0,0	Pedregulho grosso	20,0 – 60,0
1,0	0,8	Pedregulho médio	6,0 – 20,0
5,0	4,2	Pedregulho fino	2,0 – 6,0
8,4	4,9	Areia grossa	0,6 – 2,0
14,7	14,2	Areia média	0,2 – 0,6
25,6	18,7	Areia fina	0,06 – 0,2
29,3	50,4	Silte	0,002 – 0,006
10,0	6,9	argila	< 0,002
Silte Arenoso	Silte Arenoso		Solo

O ensaio de massa específica dos grãos foi realizado de forma convencional (NBR-6508) encontrando-se um valor de 2,643 g/cm³. O mesmo procedimento foi realizado para o ensaio de limite de

Atterberg, onde observa um limite de liquidez de 34%, e limite de plasticidade de 23,66%, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de Atterberg de massa específica.

Resultados	Esaios
34%	Limite de Liquidez
23,66%	Limite de Plasticidade
10,34%	Índice de Plasticidade
2,643 g/cm ³	Massa Específica dos grãos

Os sistemas de classificação que se baseiam nas características dos grãos que constituem os solos têm como objetivo a definição de grupos que apresentam comportamentos semelhantes sob aspectos de interesse da engenharia civil.

3.2 Umidade higroscópica

Após coleta dos solos, foram

utilizadas 3 amostras para realizar os ensaios de determinação de umidade higroscópica no laboratório. Para obtenção deste parâmetro foram coletado solo de uma área escavada. A Tabela 3 apresenta as amostras pesadas para a determinação de umidade higroscópica. O método de ensaio foi o da estufa regulamentado pela norma

NBR 6457 (ABNT, 1986).

Tabela 3 – Umidade Higroscópica.

Higroscópica (%)	Solo seco (g)	Solo natural	Cápsula (g)	Cápsula + solo seco (g)	Cápsula + solo natural (g)	Nº Cápsula
2	49,87	50,86	13,48	63,35	64,34	19
2,4	51,79	53,03	13,69	65,48	66,72	17
2,2	50,88	52,01	16,79	67,67	68,8	7
2,2	Média					

3.3 Curva de compactação

O ponto de máximo da curva ajustada corresponde a massa específica aparente seca máxima do solo (γ_d (γ_d)). O

teor de umidade é associado a esse valor é denominado “umidade ótima” (w_{ot} (w_{ot})). A curva de compactação em questão está representada na Figura 2 e os resultados na Tabela 4.

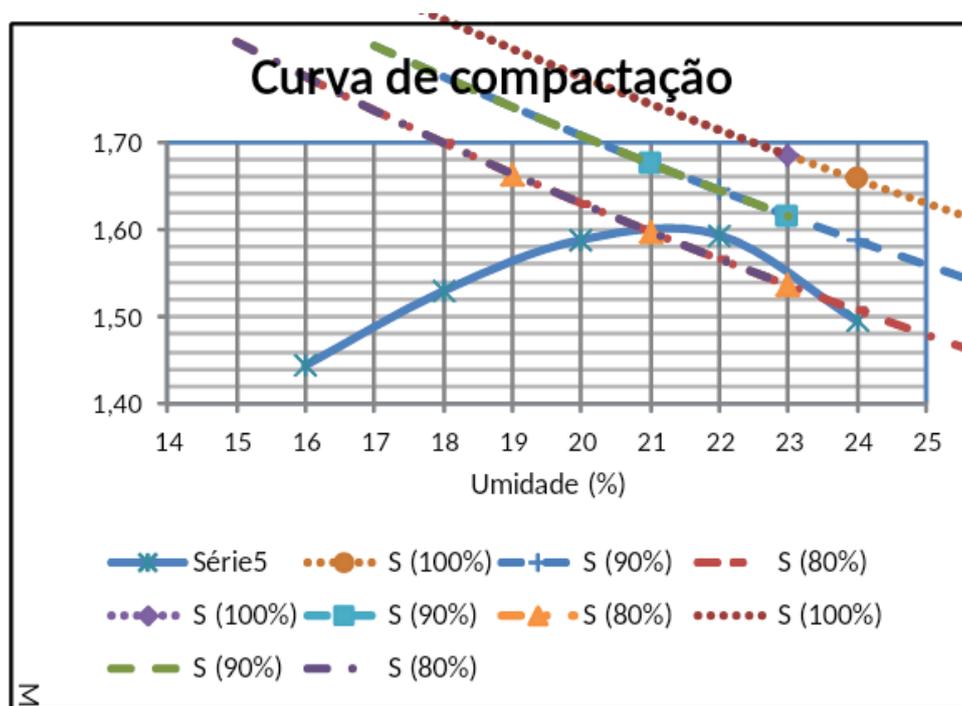


Figura 2– Curva de compactação.

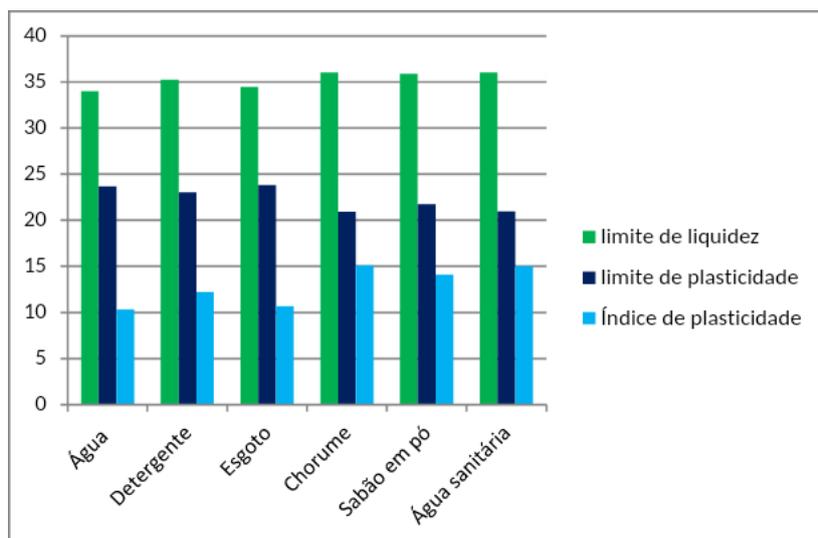
Tabela 4 – Resultados de ensaios realizados na energia Proctor normal

γ_d (γ_d (g/cm ³))	$h_{ot}h_{ot}$ (%)
1,6	21

3.4 Ensaio de compatibilidade

Os ensaios de compatibilidade visam verificar o efeito da percolação de poluentes nas características geotécnicas do solo. Foram realizados os ensaios de índices de consistência, granulometria e expansão livre nos solos contaminados. Esses ensaios foram importantes para o conhecimento, verificar a influência dos poluentes nas

propriedades do solo, visto que a literatura mostra que a percolação de uma solução pelo solo pode alterar suas características geotécnicas. Os limites de Atterberg encontrados estão mostrados na Figura 3, para água e diferentes líquidos (detergente, esgoto, água sanitária, sabão em pó e chorume).

**Figura 3** – Limites do solo

Observa-se pelo gráfico que os valores tanto de limite de liquidez, limite de plasticidade, como índice de plasticidade sofreram variações ao serem contaminados com os diferentes líquidos de inundação. Isso pode está relacionado à capacidade dos diferentes líquidos em mudar a plasticidade

do solo.

Quando contaminado com detergente, chorume, sabão em pó e água sanitária houve um aumento de 34% para 35,23%, 36,01%, 35,87% e 36,03% respectivamente, no ensaio de Limite de Liquidez (LL), enquanto no Limite de

Plasticidade (LP) houve um decréscimo de 23,66% para 23,01%, 20,9%, 21,76% e 20,98% respectivamente. Com o esgoto os resultados foram de 34,48% para LL e de 24,8% para LP, não havendo muitas alterações. Essas alterações nos limites de Atterberg foram devidas as mudanças do potencial de hidrogênio do solo, a presença de sódio na água sanitária e sabão em pó, e do ácido sulfídrico presente no chorume.

Já em relação à granulometria dos

solos contaminados, procedeu-se a comparação das curvas granulométricas, solos passantes na peneira #10 de abertura 2 mm, e os solos dos índices de consistência passantes na peneira #40. A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas do solo passante na #10 contaminado, e na Figura 3.5 apresenta a comparação das curvas dos líquidos que mais se aproximou da curva com defloculante.

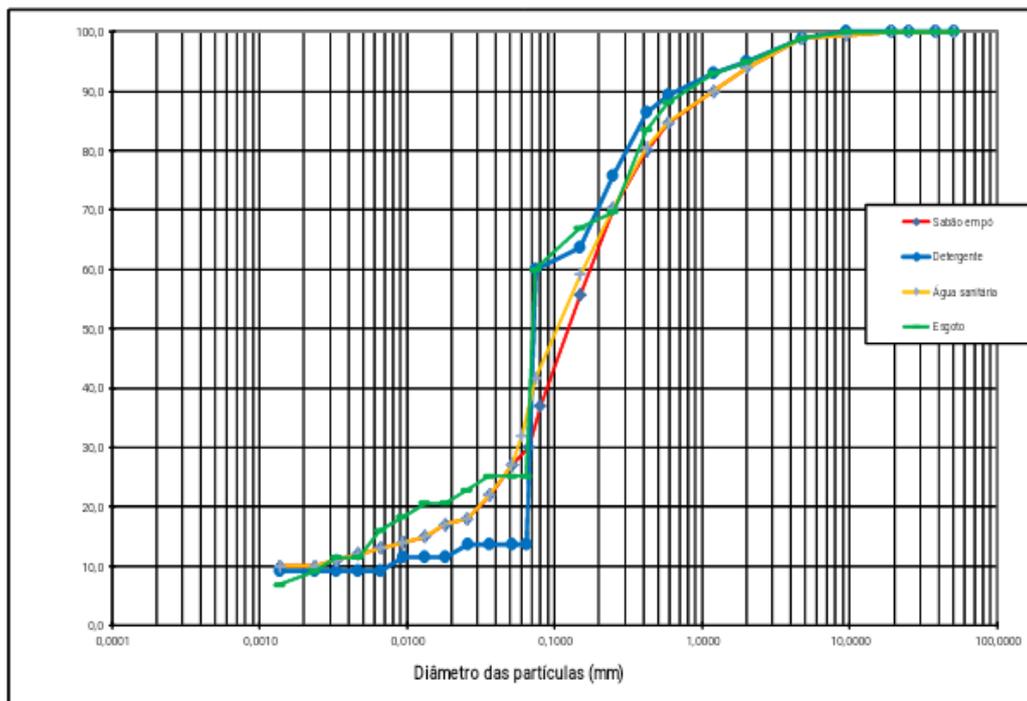


Figura 4 – Curva granulométrica dos líquidos de inundação.

A partir da análise das curvas granulométricas com diferentes líquidos de inundação, pode-se observar que não houve nenhuma tendência dos diferentes líquidos funcionar como agente defloculante. Já a

Figura 5 apresenta os dados da distribuição granulométrica onde os contaminantes podem ser comparados como meio dispersor.

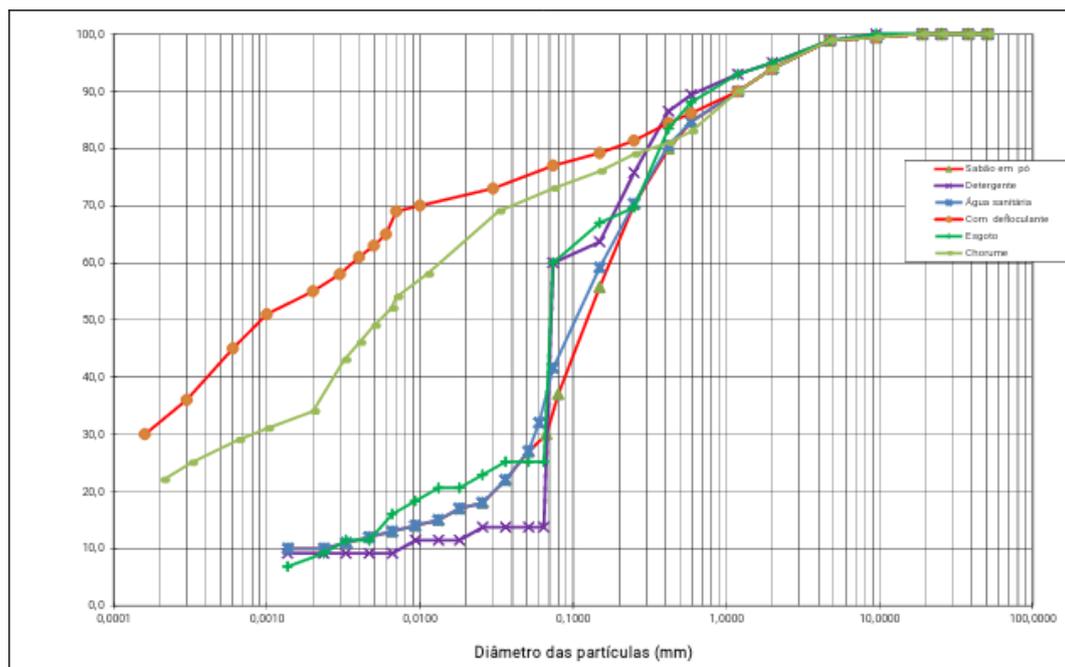


Figura 5 – Curva com defloculante vs com líquidos de inundação.

A partir da análise das curvas granulométricas com diferentes líquidos de inundação, pode-se observar o quanto os diferentes líquidos acarretam mudanças nos valores das curvas, tendo em vista analisar o funcionamento como agente defloculante.

Ao analisar a Tabela 5 notam-se nitidamente os efeitos dos diferentes

líquidos de inundação, o que teve ação de agir como defloculante foi somente o chorume que se aproximou da curva com defloculante, sendo assim os demais líquidos não possuíram propriedades de modificar as características do solo e agir sobre os finos dispersando o mesmo.

Tabela 5 – Potencial de deformação (PD).

PD (%)	Amostras UnB
4,19	Água destilada
5,86	Esgoto bruto
9,42	15% Sabão em pó
11,61	15% Chorume
11,52	15% Detergente
11,06	15% Água sanitária

A Figura 6 com solos passantes na peneira #10 pode observar os resultados de compatibilidade solo-contaminante, tanto

para água, como para os diferentes líquidos ao qual o solo foi submetido ao contato por 24 horas.

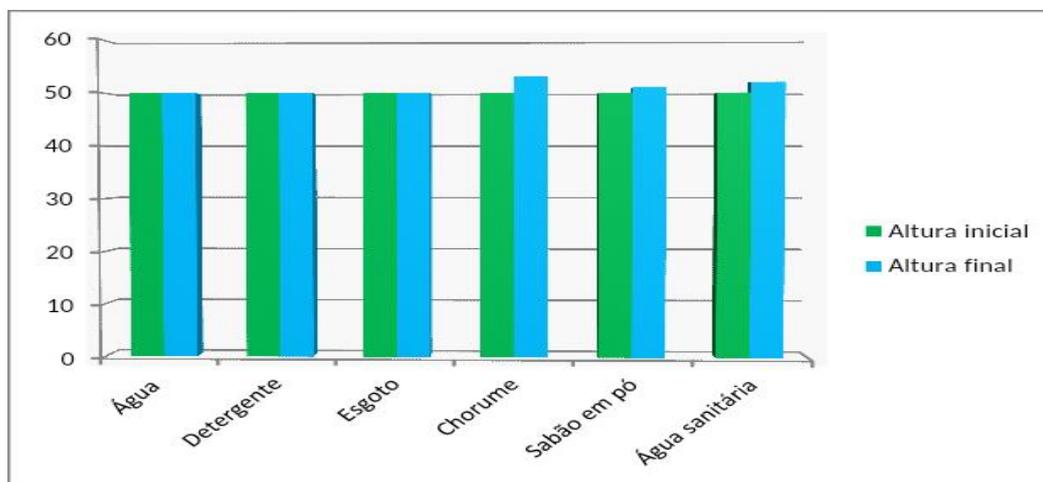


Figura 6 – Ensaio compatibilidade.

Após 24 horas de contato do solo com o contaminante, pode observar que houve um aumento do volume de solo, para as provetas que continham o solo mais contaminante de chorume, sabão em pó e água sanitária o aumento foi de 50 cm para 53, 51 e 52 cm, confirmando assim os aspectos observados nas curvas granulométricas de agente dispersor. Já as provetas que continham o solo mais contaminante de água destilada, detergente e esgoto notam que não houve alteração no volume ocupado.

3.5 Ensaio de adensamento

Foram realizados 6 ensaios de adensamento para obtenção dos dados de índices de vazios versus tensão vertical de consolidação. A Tabela 5 apresenta os dados do potencial de deformação de cada corpo de com pH alcalinos ensaiado realizados no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília e no laboratório de Solos e Materiais de Construção Civil da Universidade Paulista de Brasília.

Já a Figura 7 apresenta gráficos que relacionam índices de vazios versus tensão aplicada.

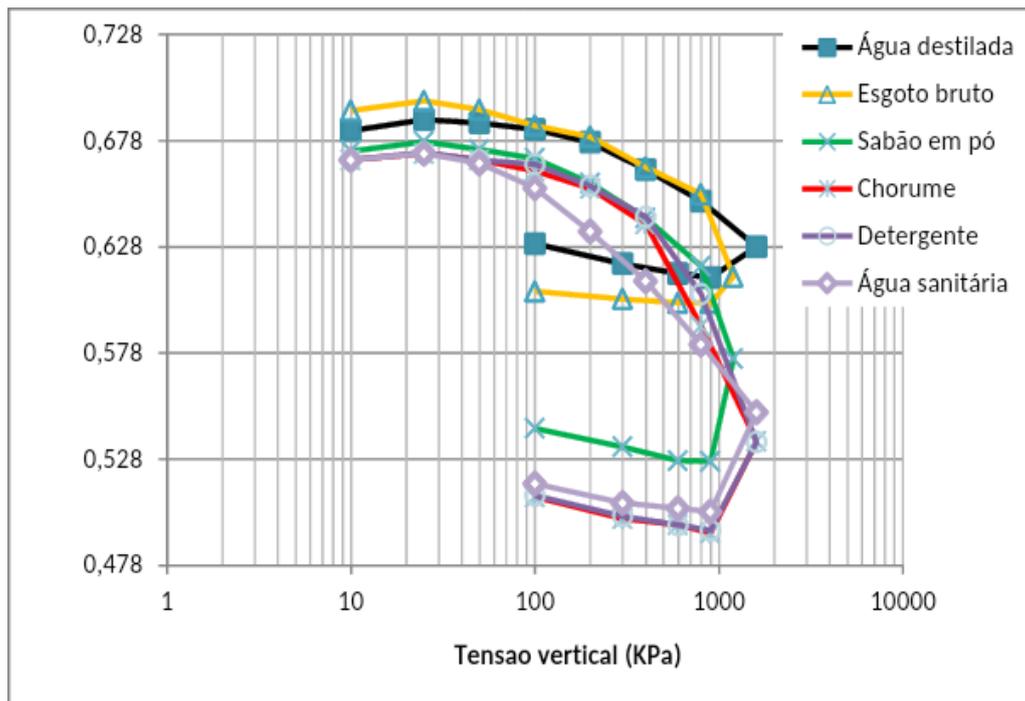


Figura 7 – Índice de vazios em função da Tensão vertical com 6 aplicações de diferentes líquidos de inundação (UnB).

As maiores deformações foram obtidas para o solo nos ensaios edométricos simples, com a solução a base de chorume (pH = 8,09), detergente (pH = 7,13), água sanitária (pH = 8,86) e sabão em pó (pH = 11,02). A solução de esgoto bruto e a água destilada apresentaram potenciais de colapso e deformações específicas de pouca diferença entre si: 5,86 e 4,29% nos ensaios edométricos simples, embora o pH do esgoto bruto e da água destilada foram parecidos: 7,73 e 7,2, respectivamente.

A solução de chorume resultou em potencial de colapso de 11,61%, 7,42% a mais que o da água destilada; a solução de detergente o potencial de colapso apresentou-se igual a 11,52%, 7,33% também superior ao da água destilada; com

a solução de água sanitária apresentou potencial de colapso igual a 11,06%, 6,87% superior ao da água destilada e a solução de sabão em pó resultou em potencial de colapso de 9,42%, 5,23% a mais que o da água destilada. O acréscimo pode ser atribuído à presença de hidróxido de sódio e ácido em suas composições, pois se sabe que o sódio e os ácidos tem efeito desagregador da estrutura do solo e ao potencial de hidrogênio por serem maior que os demais líquidos.

Os líquidos que causaram maiores deformações, foram os líquidos de pH alcalino à base de chorume, detergente, água sanitária e sabão em pó. A composição do sabão em pó baseia-se em compostos à base do cátion sódio (linear

alquil benzeno sulfonato de sódio, base de hidróxido de sódio, alquil éter sulfato de sódio, sulfato/silicato/carbonato de sódio e tripolifosfato de sódio) e a composição da água sanitária, semelhante à do sabão em pó, baseia-se em compostos à base de sódio (hipoclorito de sódio, hidróxido de sódio e cloreto de sódio). Sabe-se que o sódio tem considerável importância na origem de solos dispersivos. Assim, líquidos compostos por sódio, quando agem na estrutura, podem dispersar o solo, aumentando as deformações sofridas quando solicitado à compressão por meio do acréscimo de tensões.

Segundo Silveira (2014), o acréscimo de potencial de deformação para os solos contaminados com líquidos mais alcalinos, pode ser atribuído à presença de hidróxido de sódio em sua composição, pois se sabe que o sódio tem efeito desagregador da estrutura do solo. Supõe-se que o mecanismo de colapso (deformação) desse solo, poderia estar relacionado à eliminação de sucção matricial e, especialmente, ao enfraquecimento das ligações cimentícias compostas por óxidos de ferro e alumínio.

A literatura ainda considera que o

mecanismo de colapso seja um fenômeno físico-químico, pois o colapso (deformação) mais atuante ocorre quando sobre ação direta de sobrecargas no solo. O líquido de lodo de esgoto pode apresentar aspectos diferenciados com relação à água, uma vez que passou por processos de intensa atividade biológica, mudanças de pH, e ainda por apresentar potencialidade de ataque sobre os compostos cimentantes de ferro e alumínio.

3.6 Determinação de pH

Além dos ensaios de compatibilidade solo contaminantes, foi realizada a determinação do potencial hidrogênionico, dos solos após a contaminação. A Tabela 6 apresenta os resultados do potencial de hidrogênio alcalinos pós-adensamento.

Ao analisar ao quadro para os valores de pH em todos os diferentes líquidos de inundação, nota-se uma influência direta decrescente na determinação do pH, verificando-se assim a capacidade de mudança do valor com o contato do solo com o contaminante.

Tabela 3.6 – Resultados do pH pós-adensamento.

pH Solo + Líquido	pH inicial	Líquidos
6,64	8,86	15% Água Sanitária
6,92	7,2	Água Destilada
8,59	11,02	15% Sabão em Pó
6,59	7,73	Esgoto Bruto
6,81	7,13	15% Detergente

6,87

8,09

15 % Chorume

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de pesquisa teve seu enfoque dividido em três partes principais: caracterização do solo e mudança das propriedades pelos constituintes dos diferentes líquidos de inundação.

- O solo foi caracterizado como silte arenoso, e se deu em função do grande percentual de areia e silte.

- O colapso foi potencializado pelos ensaios que continham a chorume, detergente, água sanitária e o sabão em pó diluídos em água.

- O mecanismo preponderante do colapso estaria relacionado ao enfraquecimento das ligações cimentíceas compostas por óxidos de ferro e alumínio.

- Considerando os fluidos de inundação utilizados e as condições de ensaio, pode-se afirmar que o colapso foi maior quando o solo foi inundado com os líquidos de pH alcalino. No entanto, não é possível atribuir a ascendência do colapso apenas ao aumento do pH. As soluções testadas possuem algumas características distintas: a viscosidade e a tensão superficial das soluções são bons exemplos.

- Nota-se que as curvas dos diferentes líquidos de inundação que se aproximaram da curva granulométrica com defloculante

foi apenas a que continha chorume, assim contendo ação dispersante no solo conforme os resultados das Figuras 3.4 e 3.5.

- O Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade do solo é alterado quando a água destilada é trocada e utilizado os diferente líquidos, devido hidróxido de sódio, ácidos e o pH.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459/84**: Solos – determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508/84**: Solos – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180/84**: Solos – determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/84**: Solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182/86**: Solos – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/86**:

Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (método de ensaio). Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3336/90**: Solos – ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 1990.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 f.

MOTTA, E. Q.; FERREIRA, S. R. M. Variações da compressibilidade e do potencial de colapso de um solo perante diferentes líquidos de inundação. **Revista de estudos ambientais**. Recife, v.13, n. 1, p 28-41, 2011.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils. **Bull Eng Geol Environ**.v 66(2): p. 215-233. 2007. RODRIGUES, R. A. **A influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso**. 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003.

RODRIGUES, R. A.; MOLINA JÚNIOR, V. E.; LOLLO, J. A. Influência dos constituintes do esgoto no colapso de um solo arenoso. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Ilha Solteira, v 15, n. 1, p. 29-36, 2010.

SILVEIRA, L. R. **Aspectos geotécnicos e ambientais para a disposição adequada de lodo de esgoto**. 2014. 214f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.