

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

INFLUÊNCIA DE INSUMOS AGRÍCOLAS EM PROPRIEDADES
FÍSICAS DE SOLOS TROPICAIS

ANDREA CARDONA PÉREZ

ORIENTADOR: JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Dr.

COORIENTADOR: RENATO CABRAL GUIMARÃES, D.Sc.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: 298-2018

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO/2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INFLUÊNCIA DE INSUMOS AGRÍCOLAS EM PROPRIEDADES
FÍSICAS DE SOLOS TROPICAIS**

ANDREA CARDONA PÉREZ

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE.**

APROVADA POR:

JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, Dr. (UnB)
(ORIENTADOR)

MICHÉLE DAL TOÉ CASAGRANDE
(EXAMINADOR INTERNO)

CLAUDIO FERNANDO MAHLER
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 28 FEVEREIRO de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

PÉREZ, ANDREA CARDONA

Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais.

[Distrito Federal] 2018

xix, 103 p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2018)

Dissertação de Mestrado-Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Palavras chaves:

- | | |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Fertilizantes | 2. Propriedades físicas do solo |
| 3. Solos tropicais | 4. Desagregação/defloculação |
| I. ENC/FT/UnB | II. Mestre |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PÉREZ, A.C. (2018). Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 103 p.

CESSÃO DE CRÉDITOS

NOME DO AUTOR: Andrea Cardona Pérez

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Influência de insumos agrícolas em propriedades físicas de solos tropicais.

GRAU/ANO: Mestre/2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Andrea Cardona Pérez

CLN 407, Bloco A, Sala 113

CEP:70855510, Asa norte, Brasília DF - Brasil.

andreita-29@hotmail.com

DEDICATÓRIA

*Esta disertación va dedicada
a mi mamá por ser siempre mi faro y mi fuerza y
a mi tita Lola por todo el amor que me ha dado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde que tem me outorgado para aproveitar todas as oportunidades que me têm sido apresentadas no meu caminho e ao meu anjo Alonso por me acompanhar sempre.

Não conheço uma mulher mais forte, decidida, paciente e engraçada que tu, mãe, te amo com todo meu coração e esta pesquisa nunca teria sido possível sem teu apoio. Te agradeço por sempre estar comigo me acompanhando nas minhas decisões e iluminando meu caminho. Obrigada por continuar compartilhando o mesmo pedaço de céu comigo.

Agradeço a toda minha família por ser parte deste processo, me acompanhando e torcendo para seguir sempre adiante, especialmente aos meus irmãos Duban e Sofia e à minha avó Lola por me ter sempre em suas orações.

Ao meu namorado, Jair, por me segurar a mão em cada etapa deste mestrado, por toda a ajuda durante este ano de pesquisa, por sempre ter a palavra precisa no momento preciso, por cuidar de mim cada dia, por confiar em mim. Obrigada amor.

Ao meu orientador, o professor José Camapum de Carvalho, pela confiança depositada em mim, o apoio constante, o ensino tanto no profissional quanto na vida, minha admiração e gratidão total.

Ao meu coorientador, o professor Renato Cabral Guimarães pela ajuda durante a pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia por me dar todo o conhecimento adquirido nestes dois anos e a oportunidade de conhecer pessoas tão maravilhosas de diferentes países que enriqueceram muito mais esta experiência.

Ao laboratório de FURNAS Centrais Elétricas S.A. pela realização dos ensaios de DRX.

Ao CNPq pelo apoio econômico durante estes dois anos para o desenvolvimento desta pesquisa.

E finalmente, agradeço a todos aqueles que de uma ou outra forma me ajudaram durante este ano de pesquisa e que não foram citados.

RESUMO

Esta pesquisa analisa o impacto de fertilizantes nas propriedades físicas de solos compondo um perfil de intemperismo tropical. Demonstrada a influência dos insumos agrícolas sobre as propriedades físicas dos solos, serão avaliados os impactos no comportamento hidromecânico dos mesmos. Se utilizou amostras deformadas oriundas das profundidades 1 m, 5 m, 9 m e 11 m de um perfil de intemperismo tropical, compreendendo solo laterítico (1 m e 5 m), solo de transição (9 m) e solo saprolítico (11 m). Os solos foram analisados no estado natural e misturados com 2%, 4%, 8% e 10% em peso tanto dos produtos químicos puros, Calcário Dolomítico, Calcário Calcítico, Cloreto de Potássio, Ureia (Nitrogênio) e Super Simples (Fósforo), quanto com compostos formados a partir desses insumos puros. Se consideraram tempos de exposição do solo aos produtos de 24 horas, 7 dias e 15 dias. No conjunto do estudo foram realizados ensaios de análise mineralógica e análise da composição química sobre amostras naturais, ensaios de pH, ensaios para análise granulométrica compreendendo peneiramento e sedimentação, ensaios de Limites de Atterberg e avaliação visual da textura do solo com imagens obtidas por meio de lupa eletrônica sobre amostras naturais e após mistura. Os estudos mostraram que os insumos agrícolas geram desagregação das partículas no ensaio de sedimentação, diminuição dos limites de Atterberg e variações na estrutura de agregação e/ou floculação do solo segundo as imagens obtidas com a lupa. Os aditivos químicos puros que geraram maiores mudanças foram o Cloreto de Potássio e o Super Simples e os que geraram menores mudanças foram os calcários Dolomítico e Calcítico. Além disso, se determinou se é necessário considerar no ensaio de sedimentação, a variação com o tempo de ensaio da massa específica dos grãos (ρ_s), em lugar de um valor médio como tradicionalmente tem sido feito. Os resultados mostram que em geral, a variação na granulometria, considerando os valores mínimos e máximos do ρ_s encontrados não é significativa. Porém, se analisados os minerais presentes no solo em separado, é possível constatar a influência da massa específica dos grãos na avaliação do tamanho das partículas presentes no solo.

ABSTRACT

This work analyze the impact of fertilizers on the physical properties of soils belongs to a weathering tropical profile. Proved the influence of fertilizers on physical properties of soils, will be evaluated the impact of these on the hydro-mechanical behavior of soils. It was used disturbed samples taken from a depth of 1 m, 5 m, 9 m and 11 m from a weathering tropical profile, including lateritic soil (1m to 5m), transition lateritic-saprolite soil (9m) and saprolite soil (11m). The soils was analyzed in natural conditions and mixed with 2%, 4%, 8% and 10% in weight, of the pure and a combination of fertilizers Dolomitic Limestone, Calcite Limestone, Potassium Chloride, Urea (Nitrogen) and Super Simples (Phosphorus). It was consider time exposure soil-chemical products for 24 hours, 7 days and 15 days. It was carried out tests for mineralogy and chemical composition analysis on natural samples, pH test, particle-size distribution tests using sedimentation (Hydrometer) and sieve analysis, liquid limit and plastic limit test, and finally, textural visual evaluation of natural and mixed samples through images obtained from electronic magnifying glass. The results showed that fertilizers generate disintegration of particles in the sedimentation test, decrease of the Atterberg Limits and variations in the soil structure according to the images obtained with the magnifying glass. The pure chemical additives that generated the greatest changes were Potassium Chloride and Super Simple and the Dolomitic and Calcitic Limestones generated the smallest changes. Besides, it was determined the need of consider a variation of specific gravity of soil (ρ_s) during the sedimentation test with test time, instead a mean value as traditionally was used. The results point out the variation in the particle size distribution curve, considering the minimum and maximum value of ρ_s found, is not meaningful. However, if the present minerals in soil structure are analyze separately, is possible confirm the influence of grain specific gravity in the particle-size distribution of soil.

ÍNDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. | HIPÓTESE DA DISSERTAÇÃO | 2 |
| 1.2. | OBJETIVO GERAL..... | 2 |
| 1.3. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.4. | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 3 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 2.1. | ASPECTOS QUÍMICOS DAS ARGILAS | 4 |
| 2.1.1. | Cargas presentes nas argilas | 4 |
| 2.1.2. | Íons trocáveis..... | 6 |
| 2.1.3. | pH do solo | 8 |
| 2.2. | LIMITES DE ATTERBERG..... | 10 |
| 2.3. | CONTAMINANTES NO SOLO..... | 11 |
| 2.4. | COMPORTAMENTO DOS FERTILIZANTES NO SOLO | 12 |
| 2.5. | EFEITO DOS FERTILIZANTES NAS PROPRIEDADES DO SOLO | 13 |
| 2.6. | ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO | 15 |
| 3. | MATERIAIS E MÉTODOS | 17 |
| 3.1. | MATERIAIS | 17 |
| 3.1.1. | Características do solo em estudo | 17 |
| 3.1.2. | Aditivos químicos utilizados | 18 |
| 3.2. | MÉTODOS..... | 19 |
| 3.2.1. | Misturas solo – aditivo químico..... | 19 |
| 3.2.2. | Análises químicas e DRX | 20 |
| 3.2.3. | Teor de umidade do solo | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.4. | Peso específico dos grãos | 21 |
| 3.2.5. | Ensaio para a determinação da distribuição granulométrica de solos finos | 21 |
| 3.2.6. | Análise de solubilidade dos aditivos químicos | 22 |
| 3.2.7. | Limites de Atterberg..... | 23 |
| 3.2.8. | Determinação do pH..... | 23 |
| 3.2.9. | Análise visual com lupa | 24 |
| 3.3. | VALOR DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA | 24 |
| 3.4.1. | Amostra | 24 |
| 3.4.2. | Obtenção da massa específica dos grãos e análise granulométrica..... | 25 |
| 4. | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS | 28 |
| 4.1. | CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA | 28 |
| 4.2. | CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA..... | 31 |
| 4.3. | ANÁLISE DE SOLUBILIDADE DOS ADITIVOS QUÍMICOS..... | 34 |
| 4.4. | ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E COM LUPA..... | 38 |
| 5.4.1. | Análises granulométricas e com lupa para um tempo de exposição de 24h | 38 |
| 5.4.2. | Análises granulométricas para um tempo de exposição de 7 dias | 55 |
| 5.4.3. | Análises granulométricas para um tempo de exposição de 15 dias | 64 |
| 5.5. | RESULTADOS DE pH..... | 71 |
| 5.6.1. | Tempo de exposição 24 horas | 71 |
| 5.6.2. | Tempo de exposição 7 dias | 73 |
| 5.6.3. | Tempo de exposição 15 dias | 75 |
| 5.7. | RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG | 76 |
| 5.8.1. | Tempo de exposição 24 horas | 76 |
| 5.8.2. | Tempo de exposição 7 dias | 80 |
| 5.8.3. | Tempo de exposição 15 dias | 83 |

| | |
|--|----|
| 5.9. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DOS GRÃOS NO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO | 86 |
| 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 89 |
| 6.1. CONCLUSÕES | 89 |
| 6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 91 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 93 |
| APÊNDICE A – FIGURAS COMPARATIVAS DAS IMAGENS OBTIDAS COM A LUPA ELETRÔNICA..... | 96 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Representação gráfica da dupla camada difusa. | 5 |
| Figura 2.2. a) Estrutura de um solo pouco intemperizado; b) estrutura de um solo profundamente intemperizado. Fonte: Camapum de Carvalho et al., 2012 | 8 |
| Figura 3.1. Aspecto físico dos solos de cada uma das profundidades utilizadas durante o desenvolvimento da pesquisa. | 17 |
| Figura 3.2. (a) Cloreto de Potássio, (b) C. Dolomítico, (c) Super Simples, (d) Ureia e (e) C. Calcítico | 19 |
| Figura 3.3. Pentapícnometro Quantachrome | 21 |
| Figura 3.4. pHmetro portátil Q400HM | 23 |
| Figura 3.5. Lupa eletrônica AVANTSCOPE | 24 |
| Figura 3.6. Procedimento de coleta das amostras para a determinação da massa específica... .. | 25 |
| Figura 3.7. Fluxograma com a metodologia desenvolvida para a avaliação da variação da massa específica com o tempo de sedimentação | 26 |
| Figura 3.8. Fluxograma mostrando a metodologia desenvolvida para a caracterização das misturas de solo com os diferentes aditivos químicos. | 27 |
| Figura 4.1. CTC, MO, saturação por bases e acidez ao longo do perfil..... | 29 |
| Figura 4.2. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 1 m de profundidade do campo experimental do PPGG..... | 32 |
| Figura 4.3. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 5 m de profundidade do campo experimental do PPGG..... | 32 |
| Figura 4.4. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 9 m de profundidade do campo experimental do PPGG..... | 33 |
| Figura 4.5. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 11 m de profundidade do campo experimental do PPGG..... | 33 |
| Figura 4.6 Perfil mineralógico | 34 |
| Figura 4.7. Distribuição granulométrica dos aditivos químicos..... | 37 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.8. Porcentagem de aditivo solubilizada. | 37 |
| Figura 4.9. Solo de 1 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 39 |
| Figura 4.10. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 40 |
| Figura 4.11. Solo de 1 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 40 |
| Figura 4.12. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 41 |
| Figura 4.13. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h. | 43 |
| Figura 4.14. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias. | 43 |
| Figura 4.15. Solo de 5 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 44 |
| Figura 4.16. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 45 |
| Figura 4.17. Solo de 5 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 45 |
| Figura 4.18. Solo de 5 m de profundidade com o 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 46 |
| Figura 4.19. Ensaio às 8 horas de sedimentação do Super Simples (Primeiras 4 provetas) e da Ureia (Últimas 4 provetas) para a profundidade de 5 m e os 4 teores em estudo. | 46 |
| Figura 4.20. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h. | 47 |
| Figura 4.21. Solo de 9 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 48 |
| Figura 4.22. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.23. Solo de 9 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 49 |
| Figura 4.24. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 50 |
| Figura 4.25. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h. | 51 |
| Figura 4.26. Solo de 11 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 52 |
| Figura 4.27. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 52 |
| Figura 4.28. Solo de 11 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 53 |
| Figura 4.29. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h. | 53 |
| Figura 4.30. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h. | 54 |
| Figura 4.31. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 55 |
| Figura 4.32. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 56 |
| Figura 4.33. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias..... | 57 |
| Figura 4.34. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade após (a) 24 horas e (b) 7 dias da mistura com Cloreto de Potássio. | 57 |
| Figura 4.35. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 58 |
| Figura 4.36. Solo de 5 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.37. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias..... | 59 |
| Figura 4.38. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade após (a) 24 horas e (b) 7 dias da mistura com Cloreto de Potássio. | 59 |
| Figura 4.39. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 60 |
| Figura 4.40. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 61 |
| Figura 4.41. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias..... | 62 |
| Figura 4.42. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 62 |
| Figura 4.43. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias..... | 63 |
| Figura 4.44. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias..... | 64 |
| Figura 4.45. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 65 |
| Figura 4.46. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 65 |
| Figura 4.47. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias. | 66 |
| Figura 4.48. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 66 |
| Figura 4.49. Solo de 5 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.50. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias. | 67 |
| Figura 4.51. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 68 |
| Figura 4.52. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 68 |
| Figura 4.53. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias. | 69 |
| Figura 4.54. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 70 |
| Figura 4.55. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias..... | 70 |
| Figura 4.56. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias. | 71 |
| Figura 4.57. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 24h. | 73 |
| Figura 4.58. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 7 dias. | 75 |
| Figura 4.59. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 15 dias..... | 76 |
| Figura 4.60. Resultados dos Limites de Atterberg, com tempo de exposição de 24h: a) w_L ; b) w_p | 77 |
| Figura 4.61. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 24h. | 79 |
| Figura 4.62. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 24h. | 80 |
| Figura 4.63. Resultados dos Limites de Atterberg, para o tempo de exposição de 7 dias: a) w_L ; b) w_p | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.64. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 7 dias. | 82 |
| Figura 4.65. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 7 dias | 83 |
| Figura 4.66. Resultados dos Limites de Atterberg, com tempo de exposição de 15 dias. | 84 |
| Figura 4.67. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 15 dias. | 85 |
| Figura 4.68. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 15 dias. | 85 |
| Figura 4.69. Variação da ρ_s ao longo da proveta para o solo de 1 m e 11 m de profundidade, após 10min e 1h de sedimentação respectivamente | 87 |
| Figura 4.70. Distribuição granulométrica: (a) solo coletado a 1 m de profundidade com o valor de ρ_s médio, máximo e mínimo, obtidos para um tempo de sedimentação de 10min e (b) para o solo coletado a 11 m de profundidade com o valor de ρ_s médio, máximo e mínimo, para um tempo de sedimentação de 1h..... | 87 |
| Figura 4.71. Distribuição granulométrica: (a) solo coletado a 1 m de profundidade com os valores de ρ_s da Tabela 4.6.1 e (b) para o solo coletado a 11 m de profundidade com os valores de ρ_s da Tabela 4.6.2. | 88 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1. Capacidade de troca catiônica de alguns argilominerais. Traduzida ao português do livro do Grim (1962). | 7 |
| Tabela 2.2. CTC de alguns coloides de solo sob condições tropicais. Adaptada de Mello et al (1983) | 7 |
| Tabela 4.1. Composição química do perfil de solo em estudo..... | 28 |
| Tabela 4.2. Resultados de pH em água e KCl feitos no laboratório da Soloquímica e em um pHmetro portátil. | 31 |
| Tabela 4.3. Valores das umidades dos aditivos químicos usados na pesquisa..... | 35 |
| Tabela 4.4. Análise granulométrica dos aditivos químicos em estado natural. | 35 |
| Tabela 4.5. Análise granulométrica dos aditivos químicos após lavagem e secagem em estufa | 36 |
| Tabela 4.6. Porcentagem de aditivo químico dissolvido em água ou reduzido a um tamanho inferior a 0,045 mm..... | 36 |
| Tabela 4.7. Índices físicos, umidade e massa específica, dos solos em estudo..... | 38 |
| Tabela 4.8. Valores do ρ_s médio para o solo de 1 m, a partir da sua composição mineralógica. | 86 |
| Tabela 4.9. Valores do ρ_s médio para o solo de 11 m, a partir da sua composição mineralógica. | 86 |

NOMENCLATURA, SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

| | |
|-------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| Al | Alumínio |
| As | Arsênio |
| B | Boro |
| BTEX | Composto aromático Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno |
| Ca | Cálcio |
| CaCO ₃ | Carbonato de cálcio |
| Cd | Cadmio |
| Cl | Cloreto |
| CTC | Capacidade de troca catiônica |
| D | Diâmetro das partículas |
| Eq | Equação |
| H ⁺ | Cátion Hidrogênio |
| H+Al | Acidez total |
| Hg | Mercúrio |
| IP | Índice de Plasticidade |
| K | Potássio |
| KCl | Cloreto de Potássio |
| L | Distância de queda das partículas |
| meq | Miliequivalente |
| Mg | Magnésio |
| mm | Milímetros |
| MO | Matéria orgânica |
| Na | Sódio |
| NBR | Norma Brasileira |
| NH ₄ | Amônio |
| NO ₃ | Nitrato |
| NPK | Nome de um fertilizante |
| OH ⁻ | Ânion hidroxila |
| P | Fósforo |
| PCZ | Ponto de Carga Zero |
| PPGG | Programa de pós-graduação em geotecnia |
| SUC | Mistura dos aditivos químicos puros Super simples, Ureia e Cloreto de Potássio Mistura dos aditivos químicos puros Super simples, Ureia, Cloreto de Potássio e |
| SUC+C | Calcário Calcítico Mistura dos aditivos químicos puros Super simples, Ureia, Cloreto de Potássio e |
| SUC+D | Calcário Dolomítico |
| t | Tempo de queda |
| U+C | Mistura dos aditivos químicos puros Ureia e Calcário Calcítico |
| UnB | Universidade de Brasília |
| V% | Saturação por bases |
| w% | Teor de umidade |
| w _l | Limite de liquidez |
| w _p | Limite de plasticidade |

| | |
|-------------------|--|
| ΔpH | pH medido em KCl menos pH medido em água |
| η | Viscosidade da água |
| ρ_s | Massa específica |
| ρ_w | Densidade da água |

1. INTRODUÇÃO

A precipitação e os abalos sísmicos são dois fenômenos naturais considerados geralmente como propiciadores de instabilidade nos maciços. No primeiro isto ocorre devido à diminuição da sucção/capilaridade atuante no solo e/ou devido à própria saturação do maciço, e no segundo em decorrência da atuação de ondas sísmicas que geram um efeito mecânico. No Brasil a precipitação é de fato a causa que ocorre com maior frequência, sendo os abalos sísmicos pouco frequentes e com baixa intensidade. Além dessas causas naturais, existe ainda uma terceira causa que merece ser melhor estudada: a alteração das propriedades físico-químicas do maciço em função das ações antrópicas, como por exemplo a utilização de fertilizantes na prática da agricultura.

O biólogo e prêmio Nobel Alexis Carrel, assegura que os fertilizantes não restauram a fertilidade do solo porque não podem subministrar todos os nutrientes necessários gerando com o tempo a sua erosão (OikosUSA, 2000). Além disso no Brasil tem-se apresentado um incremento no consumo de fertilizantes agrícolas com o passar dos anos, segundo os dados apresentados pelo International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2017), o que leva a pensar que a quantidade destes produtos químicos que vão se acumulando no solo é cada vez maior, podendo reagir com os argilominerais do solo e gerar com isso mudanças na interação entre partículas e na própria estrutura dos mesmos. Cabe destacar que tem sido poucos os estudos desenvolvidos sobre este tema na área de Geotecnia, já que as diferentes pesquisas encontradas estão relacionadas sobretudo com aspectos da agronomia e em menor escala com o comportamento mecânico dos solos.

Sempre se tem considerado que todo o processo de sedimentação que acontece durante o ensaio para determinar a granulometria da fração fina de um solo, ocorre em função do tamanho dos grãos. Para obter o diâmetro das partículas tem sido tradicionalmente utilizado o valor médio de massa específica dos grãos (ρ_s) do material em estudo. No entanto, estima-se que tanto a densidade dos minerais como a forma das partículas interfiram nos resultados.

Com base nos parágrafos anteriores, esta pesquisa busca avaliar o impacto dos insumos agrícolas na estabilidade textural e na interação entre partículas de um perfil de solo tropical. Para tal avaliação serão usados respectivamente ensaios de análise granulométrica e ensaios de limites de Atterberg. Adicionalmente se analisa a possibilidade de o ρ_s dos grãos, intervir na leitura densimétrica, ao mudar com o tempo durante a execução do ensaio, o que levaria a uma

variação nas medições feitas com o densímetro, que conduziriam a uma imprecisão na determinação da granulometria real do solo.

O estudo da interação do solo com os fertilizantes é de interesse para a área de Geotecnia, devido a que no Brasil tem-se incrementado com os anos o uso de fertilizantes nas atividades agrícolas, o que pode gerar com o tempo uma acumulação desses produtos químicos no solo. Tal acumulação é susceptível de gerar mudanças nas interações entre as partículas de solo intervindo em seu comportamento hidromecânico. Ao intervir na estabilidade estrutural das agregações, floculações e grumos presentes nos solos e na interação entre partículas os resultados obtidos nessa pesquisa serão também de interesse para a área de Agronomia.

1.1. HIPÓTESE DA DISSERTAÇÃO

Considerando-se que a hipótese é uma suposição que se faz buscando explicar o que não se conhece, conforme pontua Lucena (2012) fundamentando-se em Rudio (1999), tem-se nesse estudo como premissa o fato de que os insumos agrícolas afetam a textura dos solos tropicais e a interação entre partículas e com isso podem gerar mudanças de comportamento do solo. A primeira parte dessa hipótese será analisada nessa dissertação, já a segunda, por carecer de estudos complementares sobre o comportamento hidromecânico dos solos, será menos conclusiva, embora se saiba que tanto a textura quanto as forças interativas entre as partículas o afetem diretamente.

Ao se usar um perfil de solo tropical para estender as análises aos diferentes estágios de tropicalização dos solos se está a trabalhar com a inferência indutiva na qual mesmo todas as premissas sendo verdadeiras, a conclusão é provavelmente, mas não necessariamente verdadeira.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho será avaliar experimentalmente quais são as alterações que se apresentam nos ensaios de caracterização de solos integrando um perfil de intemperismo tropical, quando é misturado com diferentes teores de insumos agrícolas e com um tempo de exposição a estes aditivos químicos de 24 horas, 7 dias e 15 dias. Adicionalmente avaliar se a massa específica dos grãos (ρ_s) muda com o tempo de sedimentação.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar se os aditivos químicos utilizados, apresentam por meio de solubilização, desagregação ou defloculação, diminuição dos tamanhos de partículas ou grumos quando entram em contato com a água, alterando assim os resultados de granulometria das misturas solo-insumo.
- Verificar por meio de ensaios as alterações apresentadas nas propriedades físicas e químicas dos solos submetidos a tratamentos com diferentes quantidades e tipos de fertilizantes.
- Avaliar qual é o grau de importância do teor do insumo agrícola na alteração das propriedades físicas do solo.
- Conhecer quais aditivos químicos geraram as maiores e menores alterações nos resultados dos diferentes ensaios em relação ao solo natural.
- Determinar a influência da mineralogia presente no solo de cada uma das profundidades estudadas, nos diferentes ensaios realizados.
- Analisar por meio de uma lupa a ocorrência ou não de alterações na textura do solo.
- Avaliar a influência da massa específica nos resultados de análise granulométrica por sedimentação.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Com o objetivo de facilitar a compreensão do desenvolvimento desta pesquisa, o trabalho foi dividido em 5 capítulos explicados brevemente a seguir.

No Capítulo 1, se faz a introdução ao estudo realizado, ressaltando brevemente os motivos pelos quais foi desenvolvido, a hipótese do estudo e os seus objetivos.

No Capítulo 2, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica abordando os conceitos fundamentais para o entendimento dos resultados obtidos.

No Capítulo 3, se encontra a metodologia utilizada nos diversos ensaios e os materiais estudados.

No Capítulo 4, são apresentados e analisados os resultados obtidos dos diferentes ensaios realizados.

No Capítulo 5, estão as principais conclusões obtidas desta pesquisa, bem como sugestões para futuras pesquisas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos fundamentais para o entendimento dos resultados obtidos nesta pesquisa.

2.1. ASPECTOS QUÍMICOS DAS ARGILAS

2.1.1. Cargas presentes nas argilas

Devido aos minerais de argila geralmente possuírem partículas com tamanhos inferiores a 0,001 mm de diâmetro são consideradas coloides. Elas estão caracterizadas por apresentarem: uma relação elevada da área total exposta por unidade de peso, conhecida como superfície específica, e carga elétrica permanente ou variável, a qual gera alta reatividade.

A carga permanente, típica dos solos de clima temperado, é a que apresenta a partícula desde sua formação, não sendo dependente das condições do meio e podendo ser positiva ou negativa, sendo a carga negativa a mais comum ou predominante nos coloides do solo. Esta carga é gerada por substituições isomórficas as quais consistem na troca de um elemento de maior por um de menor valência (Jaramillo, 2000) e se situam nas faces do mineral. Já as cargas positivas ocorrem devido a interrupção do reticulado cristalino e se situam nos bordos.

A carga variável pode ser positiva ou negativa e é gerada pela adsorção de íons na superfície dos coloides que podem alterar a carga da partícula. Estes íons são conhecidos como íons determinantes de potencial, sendo que os principais são o ânion hidroxila (OH⁻) e o cátion hidrogênio (H⁺). Quando se apresenta uma variação da concentração destes íons, a carga varia, por isso os coloides de carga variável são dependentes do pH do meio. Com isso, quando se apresenta neste tipo de solo um incremento de cátions de hidrogênio produto de reações químicas, o pH diminui e com isso sua capacidade de absorção de cátions também diminui (Campillo & Sadzawka, 2006)

Em regiões tropicais o perfil de intemperismo é geralmente composto a partir da superfície de solos profundamente intemperizados, solos lateríticos, que se sobrepõem a zona de transição para os solos pouco intemperizados, solos saprolíticos. No Brasil, os solos predominantes nas camadas mais superficiais são os solos lateríticos como os Latossolos e Argissolos, os quais possuem principalmente minerais silicatados do tipo 1:1 do grupo da Caulinita, além dos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio e outros minerais em menor quantidade. Esses solos podem

também serem ricos em quartzo, mineral resistente ao intemperismo, mas que também pode, segundo hipótese apresentada por Rodrigues (2017), ser oriundo de alteração da caulinita ao dar origem à Gibbsita. Estes tipos de solos apresentam como principais características: estrutura metaestável, alta porosidade com distribuição de poros bimodal, alta permeabilidade, baixa capacidade de troca catiônica e alta capacidade de adsorção aniônica. A troca iônica acontece no espaço interlamelar, quando íons fracamente ligados na argila são trocados por outros quando ela entra em contato com soluções ionizadas (Fontes *et al.*, 2001).

As cargas elétricas variáveis e negativas são as que predominam na maioria dos Latossolos. Entretanto, como não pode existir um desequilíbrio elétrico no solo, quando o solo é misturado com uma substância solvente, como por exemplo a água com produtos químicos, os cátions dessa solução são atraídos formando uma dupla camada de cargas conhecida como dupla camada difusa, tal como mostra a Figura 2.1.

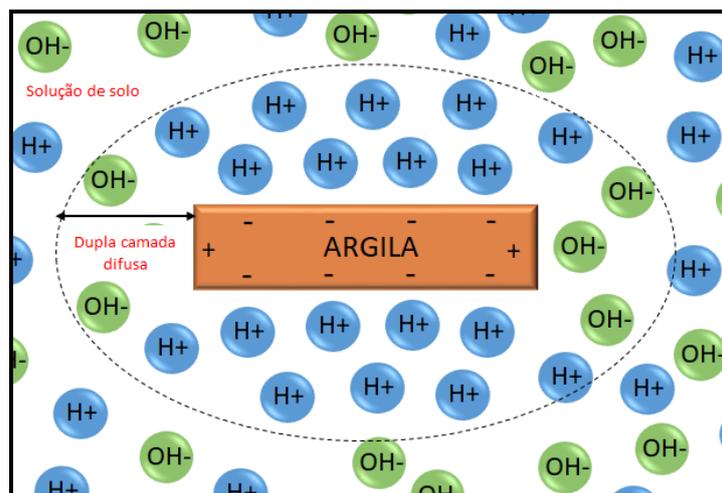


Figura 2.1 Representação gráfica da dupla camada difusa.

Esta concentração de cátions é maior na superfície da partícula carregada negativamente e diminui com a distância, até ficar com a mesma concentração da solução externa, definindo com isso o limite da dupla camada difusa. Dependendo do cátion, as duplas camadas difusas apresentam uma certa espessura que podem se sobrepor, gerando forças eletrostáticas que podem dispersar as partículas em maior ou menor grau. A dispersão do solo em função do cátion diminui na seguinte ordem: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ (Ferti Yeso, 1994).

A presença de algumas cargas elétricas positivas é importante para promover a atração entre as partículas coloidais do solo, considerando que a argila dos solos lateríticos apresenta carga negativa, como foi mencionado anteriormente. Esta floculação pode ser causada por forças de

atração de van der Waals, pelas variações nos campos eletromagnéticos dos átomos dos minerais ou por um rearranjo dos contraíons na medida que os campos eletrostáticos das partículas se sobrepõem. Um contraíon é o íon que acompanha a um ânion ou cátion e gera a neutralidade elétrica.

2.1.2. Íons trocáveis

Os íons são divididos em cátions (carga positiva) e ânions (carga negativa) e quando se apresenta um intercâmbio iônico está-se influenciando nas propriedades físicas do material. Cabe destacar que o intercâmbio de íons gera uma mudança na carga da partícula, mas não na sua estrutura. Nos argilominerais os principais cátions intercambiáveis são o cálcio, o magnésio, o hidrogênio, o potássio, o sódio e o composto amônia. Pelo contrário, os ânions mais comuns no intercâmbio são os sulfatos, o cloro, os fosfatos e nitratos. (Grim, 1962).

Outro conceito a considerar corresponde à saturação por bases, a qual representa a porcentagem de íons básicos (Ca, Mg, Na e K) disponíveis na superfície das partículas para intercâmbio iônico, a porcentagem restante representa os cátions ácidos (Al e H). Então, a maior grau de saturação por bases, maior possibilidade de absorção de cátions e maior pH (Espinoza et al., 2000). Ao adicionar calcário em solos ácidos com uma baixa saturação de bases, se gera um incremento do pH o qual obriga à saída de íons de H^+ , ficando mais espaços disponíveis na superfície da partícula para absorver outros cátions (Garrido Valero, 1993).

A capacidade de troca de cátions (CTC), consiste na capacidade que apresenta o solo para liberar e reter íons positivos (Ronquim, 2010). Este fenômeno em solos com minerais argilosos, geralmente incrementa com a diminuição do tamanho de partículas devido ao aumento da sua área superficial (Grim, 1962), com o tipo e quantidade de argila presente no solo e com o incremento do conteúdo de matéria orgânica (Besoain et al., 1985). Em sentido oposto é muito difícil que se gere um intercâmbio aniônico sem afetar a estrutura do argilomineral devido a que estes podem-se decompor durante a reação (Grim, 1962). A Tabela 2.1 foi obtida de Grim (1962) e apresenta a capacidade de intercâmbio catiônico de alguns argilominerais.

Tabela 2.1. Capacidade de troca catiônica de alguns argilominerais. Traduzida ao português do livro do Grim (1962).

| CTC de Argilominerais (em miliequivalentes por 100gr) | |
|--|-----------|
| Caulinita | 3 - 15 |
| Haloisita 2H ₂ O | 5 - 10 |
| Haloisita 4H ₂ O | 10 - 40 |
| Montmorillonita | 80 - 150 |
| Ilita | 10 - 40 |
| Vermiculita | 100 - 150 |
| Clorita | 10 - 40 |
| Sepiolita-Atapulgita | 20 - 30 |

Para os solos tropicais (Ronquim, 2010) apresenta com base em Mello et al. (1983) os valores de CTC apresentados na Tabela 2.2. É importante destacar a introdução dos óxidos de ferro e alumínio e das substâncias húmicas nessa Tabela, compostos presentes nos perfis de intemperismo tropicais.

Tabela 2.2. CTC de alguns coloides de solo sob condições tropicais. Adaptada de Mello et al (1983)

| Coloide | CTC-mmolc dm ⁻³ |
|---------------------|----------------------------|
| Caulinita* | 50 -150 |
| Montmorillonita* | 500 - 1000 |
| Ilita* | 100 - 500 |
| Vermiculita* | 1.000 – 1.500 |
| Alofana * | 250 - 700 |
| Oxidos de Fe e Al | 20 - 50 |
| Substâncias húmicas | 1.500 – 5.000 |

*Minerais de Argila

Muitos estudos têm sido desenvolvidos para conhecer como os diferentes íons se relacionam com as macromoléculas em sistemas tão diferentes que podem variar desde a qualidade do solo até o sistema nervoso. O ordenamento do efeito destes íons na estrutura das macromoléculas é conhecido como series liotrópicas (ou de Hofmeister) (Fernández-d'Arlas, 2016).

Nos solos, as series liotrópicas representam a ordem de preferência de absorção de íons de uma substância ou partícula. A superfície do solo absorve os íons de maior valência e no caso em que a valência seja a mesma, a absorção será feita com os íons que apresentem maior raio iônico (Pérez García *et al.*, 2007).

No caso da Caulinita, sua serie liotrópica é Li-Na-H-K-Mg-Ca, sendo o Lítio o de maior preferência para esse intercambio e o Cálcio o de menor preferência (Fernández-d'Arlas, 2016).

Para a Goethita a serie liotrópica é $H^+ \gg Mg^{2+} = SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Cl = Na^+ = K^+$, mostrando maior preferência pelos íons de hidrogênio e menor preferência pelos íons de Potássio (Pérez García et al., 2007).

No caso da Ilita a capacidade de intercambio se deve principalmente a substituições isomórficas na sua estrutura e essa troca vai depender de fatores como a temperatura e o meio externo. Neste argilo-mineral dá-se a substituição do Alumínio pelo Silício tetraédrico.

2.1.3. pH do solo

Os solos tropicais estão compostos principalmente por solos saprolíticos (pouco intemperizados) e solos lateríticos (profundamente intemperizados). Entre essas duas camadas está presente uma zona de transição geralmente não muito espessa, 1 m a 2 m. No primeiro caso, as partículas de solo encontram-se em estados simplesmente floculados ou dispersos ou formando pacotes de argila, já no segundo caso o solo se forma pela agregação de partículas gerando uma alta porosidade caracterizada pela presença de macroporos entre os agregados e microporos no interior dos mesmos (Camapum de Carvalho et al., 2012). Na zona de transição geralmente se fazem presente em maior ou menor proporção os dois tipos de estrutura. Estes estados pouco (a) e profundamente intemperizado (b) podem ser visualizados na Figura 2.2. No caso dos solos profundamente intemperizados o pH do meio pode exercer grande influência sobre a estabilidade estrutural dos agregados e do próprio solo. Os solos pouco intemperizados também são passíveis de terem sua estrutura afetada por influências do pH nas forças de atração e repulsão presentes no solo.

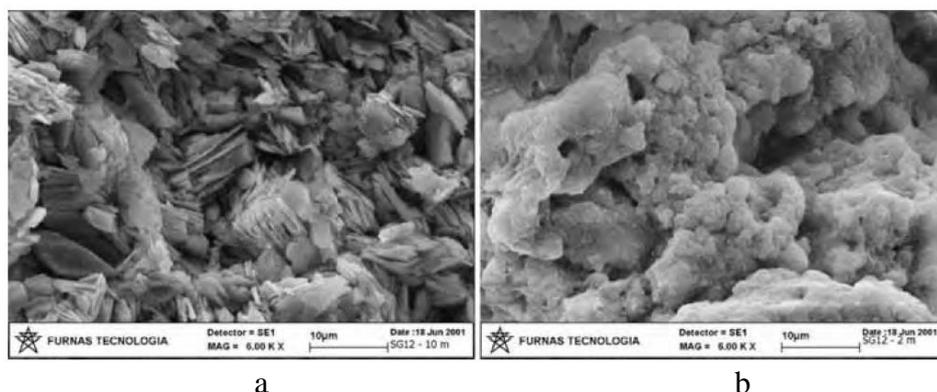


Figura 2.2. a) Estrutura de um solo pouco intemperizado; b) estrutura de um solo profundamente intemperizado. Fonte: Camapum de Carvalho et al., 2012

O pH representa os íons de hidrogênio contidos numa solução, na qual a concentração está indicada numa escala de 0 a 14, em que abaixo de 7 a solução é ácida, igual a 7 é neutra e acima deste valor é alcalina. Quando o pH é baixo tem-se uma alta atividade de H^+ , o contrário ocorre se o pH é alto (Fontes et al., 2001). As cargas positivas se tornam maior quando o pH do solo é suficientemente ácido para causar uma união excessiva de íons H^+ na superfície dos minerais (Azevedo & Bonumá, 2004).

Deve-se ter em conta que o solo não apresenta um valor constante de pH e se obtêm resultados diferentes segundo o processo pelo qual foi determinado. O pH medido em KCl representa melhor o pH da superfície da argila, já que “ocorre um intercambio catiônico entre os íons de K^+ da solução e a acidez intercambiável do solo, liberando íons H^+ que são detectados pelo eletrodo de vidro”. Adicionalmente, nesse meio evita-se as flutuações de pH que podem gerar-se pelo incremento de concentrações salinas na solução, e diminui o erro por suspensão, o qual se deve à variação do pH durante o processo de absorção dos íons K^+ e Cl^- pelas partículas que apresentam cargas elétricas (Besoain et al., 1985).

O balanço de cargas e o grau de intemperismo têm relação com o ΔpH , o qual é igual ao pH_{KCl} menos o pH_{H_2O} . O resultado desta operação dá informação sobre os tipos de minerais que compõem o solo, assim, se o valor dessa diferença é negativo, tem-se uma predominância de cargas negativas onde o solo retém mais cátions do que ânions e o solo apresenta predominância de argilominerais, pelo contrário se o ΔpH é positivo, vão predominar as cargas positivas, o solo conseguirá reter mais ânions do que cátions e está composto predominantemente por óxidos e hidróxidos geralmente com presença de argilominerais do tipo 1:1 (Camapum de Carvalho et al., 2015).

Geralmente o solo apresenta também um pH correspondente ao Ponto de Carga Zero (PCZ), o qual representa o valor de pH no qual “a carga elétrica líquida do conjunto das partículas é nula, ou seja, a carga total positiva é igual à carga total negativa” (Conciani et al., 2015), em outras palavras, não há atração ou repulsão entre partículas.

Mediante a Equação 2.1 definida por (Keng & Uehara, 1974) pode ser estimado o ponto de carga zero.

$$PCZ = 2 * pH_{KCl} - pH_{H_2O} \quad (2.1)$$

Em termos de carga, quando os valores de pH das misturas do solo com os aditivos químicos se

aproximam do valor correspondente ao ponto de carga zero (PCZ), ou seja, quando se atinge o equilíbrio entre as cargas positivas e negativas, passa a existir uma menor força de ligação entre as partículas para manter o equilíbrio elétrico o que facilita a desagregação do solo. Ao contrário, se os valores de pH das misturas solo-insumo se afastam do PCZ, as forças de ligação entre as partículas terão que aumentar para manter o equilíbrio elétrico conferindo maior estabilidade aos agregados. Essas variações de carga se dão pela mistura do solo com diferentes substâncias, daí uma das influências importantes que podem exercer os insumos agrícolas sobre a estabilidade estrutural dos solos tropicais.

É evidente, que além do pH outros fatores interferem na estabilidade dos agregados como, por exemplo, a própria mineralogia do solo e a natureza das ligações cimentícias nele presentes.

2.2. LIMITES DE ATTERBERG

Os limites de Atterberg comumente utilizados na caracterização física dos solos compreendem o Limite de Liquidez (w_l) e o Limite de Plasticidade (w_p) cuja diferença entre o primeiro e o segundo corresponde ao Índice de Plasticidade (I_p). Uma breve reflexão sobre os mecanismos envolvidos nesses ensaios leva à conclusão de que neles se avalia a resistência do solo para determinadas condições de umidade. No ensaio de limite de liquidez se tem uma avaliação da resistência ao cisalhamento enquanto no ensaio de limite de plasticidade se avalia a resistência à tração.

Como propriedades índices, os resultados destes ensaios têm demonstrado ser de muita utilidade não só para a caracterização dos solos, como também por se relacionar com outras propriedades fundamentais. Por exemplo, segundo Skempton (1953) e Grim (1962), o sistema água-argila para o limite de liquidez corresponde a uma resistência ao cisalhamento da ordem de $0,69 \text{ kN/m}^2$. Essa resistência diminui com o aumento da umidade do solo e aumenta com sua redução. Camapum de Carvalho *et al.* (2017) mostram que a pressão de entrada de ar na curva característica de retenção de água dos solos argilosos se relaciona com os limites de liquidez e plasticidade do solo.

White (1955), conforme citado por Grim (1962), apresenta resultados obtidos para argilas compostas por diferentes argilominerais mostrando que não só os limites de Atterberg como a própria atividade dos solos estão diretamente ligados aos cátions trocáveis neles presentes. Os resultados mostrados por esses autores indicam que cada argilomineral apresenta um faixa de

variação de valores com os cátions trocáveis muito mais ampla para w_1 que para w_p . Grim (1962) destaca ainda que os limites de Atterberg dependem não só do tipo de argilomineral como também do teor de minerais não argilosos presentes no solo.

Os resultados apresentados por White (1955) mostram ainda que a influência do tipo de cátion está ligada ao tipo de argilomineral, por exemplo, ao se passar do cátion cálcio (Ca^{++}) para o cátion sódio (Na^+) em um solo montmorillonítico se tem um aumento dos limites de Atterberg e da atividade do solo enquanto em um solo caulínítico ocorre o inverso. Santos (1975), ao analisar a illita e a caulinita chega à conclusão semelhante, ou seja, ao se passar do cátion cálcio para o cátion sódio se tem uma redução dos limites de Atterberg, tanto para o caso da caulinita como para o caso da illita. Como a capacidade de troca catiônica varia com o tipo de argilomineral é evidente que a influência do cátion nos limites de Atterberg dependerá dos argilominerais presentes no solo. Essas observações são relevantes para o presente estudo, pois se analisará a influência de diferentes aditivos químicos nos limites de Atterberg de um perfil de intemperismo ao longo do qual ocorrem variações qualitativas e/ou quantitativas dos minerais presentes no solo.

2.3. CONTAMINANTES NO SOLO

O uso de substâncias químicas no setor agropecuário para mitigar as pragas ou melhorar os nutrientes do solo para os cultivos, começou na metade do século XIX pelo químico alemão Justus Von Liebig, conhecido como o “pai da agricultura química”, que acreditava seguindo os resultados de seus experimentos, que o nitrogênio, o fosforo e o potássio forneciam nutrientes necessários às plantas. Contudo, o biólogo e prêmio Nobel Alexis Carrel, assegura que os fertilizantes não restauram a fertilidade do solo porque não podem subministrar todos os nutrientes necessários gerando com o tempo a erosão dele. (Oikos, 2000).

O solo apresenta diferentes funções como a retenção do carbono, regulação das inundações, ciclo de nutrientes, regulação do clima, purificação da água e diminuição dos contaminantes no solo, ou seja, trabalha como um filtro (Murphy, 2014). Com o tempo, a acumulação, infiltração e deposição de diferentes substâncias como os poluentes atmosféricos, defensivos agrícolas, fertilizantes, resíduos industriais entre outros, vão quase sempre diminuindo a capacidade de filtração do solo, mas algumas características como a mineralogia, conteúdo de argila, nível de umidade, temperatura e a presença de outros compostos químicos, podem influir no comportamento dessas substâncias. (Hannah et al., 2009). Esses agentes químicos podem ainda

atuar modificando a estrutura do solo e influenciar na capacidade de infiltração ao influir na porosidade e na distribuição de poros no solo.

Entre os contaminantes que se encontram no solo estão: os compostos aromáticos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos), que apresentam a maior solubilidade em água, ou seja, podem facilmente entrar pelos poros e poluir o lençol freático e as partículas do solo; os solventes clorados como o Clorofórmio usado como inseticida; os aditivos para combustíveis, como o ethylene dibromide (EDB) usado para melhorar as propriedades dos combustíveis; os metais pesados como o Arsênio (As), o Cádmio (Cd) e o Mercúrio (Hg) os quais causam dentre outros problemas respiratórios, gastrointestinais e na pele; os pesticidas usados para mitigar pragas como o Mirex, que apresenta uma vida média no solo superior a 600 anos; os herbicidas para o controle das ervas daninhas como a Atrazina que é altamente tóxica, se encontra em altas quantidades no solo e demora até 7 meses para degradar. Estes dois últimos contaminantes podem gerar câncer entre outras doenças (Brasil Cavalcante, 2015).

Os contaminantes podem ser inorgânicos como os herbicidas, os metais pesados, os nitratos e os fertilizantes, ou orgânicos como o lixo doméstico e grande parte dos resíduos agroindustriais. Todos esses tipos de contaminantes geram uma quebra na cadeia da microfauna (fungos, bactérias, minhocas etc) importante para a fertilidade do solo, tornando necessária com o tempo uma maior quantidade de fertilizantes (Kist et al., 2011).

O tempo de permanência dos contaminantes no maciço depende de suas características e das propriedades do solo, por isso deve-se conhecer as propriedades físico-químicas dessas substâncias, tais como a solubilidade e a estabilidade química, para determinar o que acontece na estrutura do solo. Quando eles apresentam baixa solubilidade em água tendem a se tornar fortemente absorvidos pela superfície da argila e da matéria orgânica (Peres et al., 2003), isto porque estes dois materiais apresentam potencial de sorção, principalmente o último.

2.4. COMPORTAMENTO DOS FERTILIZANTES NO SOLO

O Carbonato de Cálcio (CaCO_3) é um insumo amplamente utilizado na indústria agrícola para corrigir o pH dos solos. Este fertilizante diminui a concentração de íons de hidrogênio presentes no solo, ou seja, incrementa seu valor de pH, diminuindo com isto sua acidez (Santaella & Gonzáles, 1965). Diferentes estudos tem demonstrado que a presença ou precipitação desta substância química, podem melhorar os parâmetros físicos e mecânicos dos solos (Chahal et al.,

2011). Considerando esse aspecto, Gonzales (2009), examinou na sua tese de doutorado, alguns nutrientes para induzir a precipitação do Carbonato de Cálcio pelas Bactérias presentes no solo, bactérias nativas. Para isso, em seu estudo incubou bactérias durante 15 dias, tempo no qual, segundo determinaram outros pesquisadores, se iniciava o processo de precipitação do carbonato de cálcio. A incubação foi feita em dois meios, o primeiro era o meio B4 composto por acetato de Cálcio, extrato de levedura, glicose e ágar diluído em água destilada, e o segundo meio era composto por Ureia, Cloreto de amônia, Bicarbonato de sódio, Cloreto de cálcio e de ágar também diluído em água destilada. O resultado de sua pesquisa determinou que com relação aos dois meios, o meio B4 gerou uma maior precipitação do carbonato de cálcio que o meio composto pela Ureia.

A acidez nos solos é gerada por um excesso nas concentrações de Al^{+3} e H^+ , o qual é produzido tanto pelas plantas que absorvem os cátions básicos presentes no solo como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e liberam H^+ para manter o equilíbrio em seu interior, quanto pelos fertilizantes nitrogenados, os quais, durante a nitrificação da amônia (NH_4) e do nitrato (NO_3), liberam H^+ (Sadeghian, 2003). A Ureia por exemplo, é um dos fertilizantes nitrogenados mais comumente utilizados na agroindústria. Este aditivo químico quando reage no solo, passa inicialmente por um processo de hidrólises onde libera OH^- e posteriormente se dá o processo de nitrificação onde libera H^+ , os quais deslocam os cátions trocáveis, facilitando a suas perdas quando da infiltração da água (Campillo & Sadzawka, 2006).

Outro aditivo químico altamente utilizado nas atividades agrícolas devido à pequena disponibilidade de Fósforo no solo para os cultivos é o Super Simple geralmente composto por 16 a 18% de P_2O_5 e 18 a 20% de Ca – Cálcio. Uma vez que este insumo é adicionado ao solo, uma quantidade considerável fica retida como partículas sólidas, ou seja, só uma pequena parte é dissolvida na solução do solo. Com o tempo a parte do insumo que tinha ficado retida, torna-se insolúvel, ficando as partículas de fósforo retidas entre as partículas do solo sem serem absorvidas por ele, isto é conhecido como fósforo bloqueado ou fixado. Em alguns casos, tem-se encontrado uma retenção de até 90% do Fosforo adicionado ao solo (Rojas, 1999).

2.5. EFEITO DOS FERTILIZANTES NAS PROPRIEDADES DO SOLO

Uma pesquisa desenvolvida por autores de diferentes universidades da Turquia determinou o efeito a longo prazo de um fertilizante orgânico e outro mineral na densidade aparente e na resistência à penetração de um solo semi-árido. Os autores concluíram que há uma diminuição

da densidade aparente do solo misturado com o fertilizante orgânico, gerado pela reação entre os componentes orgânicos e os minerais mais densos, enquanto isso, a mistura com o fertilizante mineral incrementou a densidade, ou seja, o solo apresentou uma diminuição na macroporosidade o que resulta em queda na infiltrabilidade. A resistência à penetração também diminuiu com a aplicação a longo prazo do fertilizante orgânico e incrementou com o fertilizante mineral o que é condizente com as variações de densidade (Celik et al., 2010). Cabe salientar que o aumento da resistência à penetração não significa aumento na resistência ao cisalhamento nos diferentes planos.

Na universidade da Nigéria (Ezeokonkwo, 2011), foram estudadas outras propriedades do solo ao ser misturado com 4 teores do fertilizante NPK (4 partes de Nitrogênio, 2 de fosforo e 1 de potássio). Os ensaios feitos foram limites de Atterberg, compactação, permeabilidade e triaxial, obtendo-se como resultado que com o incremento do fertilizante o limite líquido, o limite de contração, o limite plástico e o coeficiente de permeabilidade diminuam, ou seja, precisa-se, segundo o autor, uma menor quantidade de água para amolecer o solo, incrementando sua erodibilidade, o solo tende a se tornar mais colapsível e aumenta-se o potencial de escoamento superficial. Não houveram alterações significativas na umidade ótima, e a densidade seca máxima do primeiro teor de fertilizante (5%) incrementou em relação ao solo sem contaminante, mas a partir desse teor começou a diminuir. É provável que o teor mais baixo apenas desestruture o solo e gere algumas trocas catiônicas e para teores mais elevados passa a ocorrer interferência mais significativa nas forças de repulsão entre partículas

Outro estudo foi feito pelo período de 22 anos na Universidade de Nanjing, na China, onde avaliaram a estabilidade no estado úmido, a resistência à tração e à penetração de um solo sem fertilizante de uma região subtropical composto principalmente de Caulinita, misturado com o fertilizante NPK (90kg de N por hectare, 20kg de P por hectare e 62kg de K por hectare), com dupla concentração de NPK, e com este fertilizante mais matéria orgânica. A área de solo misturado com cada um dos produtos mencionados foi de 46,6m². Os autores obtiveram que o fertilizante misturado com matéria orgânica gerou no ensaio de umedecimento rápido (o qual está influenciado pelo conteúdo de argila, tamanho da partícula e a umidade inicial) um incremento na porosidade, uma menor resistência à tração e um menor grau de fragmentação (incremento da estabilidade). Já o solo sem fertilizante apresentou maior resistência à penetração e uma maior resistência à tração. E finalmente o solo com dupla concentração do

produto químico (2NPK) apresentou uma diminuição da estabilidade em estado úmido e um incremento da porosidade e da quantidade de carbono orgânico no solo (Jiang-tao & Bin, 2007).

Em um estudo na Universidade de Alberta, no Canadá, avaliou-se a longo prazo o efeito físico, químico e micromorfológico de altos teores de ureia, fertilizantes baseados em amônia (nitrato de amônia e sulfato de amônia) e do nitrato de cálcio, em um solo com alto conteúdo de húmus e fósforo (Solo Chernossolo). O estudo concluiu que para um período curto usando altas concentrações do fertilizante, o conteúdo de carbono orgânico incrementava, mas não apresentava um melhoramento na micro-agregação da superfície do solo. Para um uso prolongado de fertilizantes de amônia gerou-se um incremento na desagregação da argila podendo romper a microestrutura aceleradamente devido à substituição dos cátions trocáveis dominantes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) por NH_4^+ . Em geral, o uso da Ureia e os fertilizantes com amônia baixaram o pH acidificando o solo, só que o sulfato de amônia foi o que gerou maior incremento de pH e a Ureia o menor (Goh *et al.*, 1987).

O nitrato de amônia e o nitrato de sulfato geraram um rearranjo dos grãos em unidades maiores onde sua estrutura era menos perceptível. Determinou-se que embora o tempo de exposição tenha sido curto, com a elevada concentração dos fertilizantes de amônia pode-se alterar significativamente o balanço entre os cátions básicos e Al da superfície do solo (o balanço catiônico do solo é um parâmetro importante na micro-agregação) (Goh *et al.*, 1987).

Em todas as misturas não se verificou uma alteração significativa da compactação nem da porosidade total dos solos, mas a distribuição do tamanho dos poros foi diferente entre eles. De análises de microscopia determinaram que o solo de referência era formado por uma mistura de estruturas, mas a principal foi a mullgranoidic com diâmetros de partículas de $170\mu\text{m}$. Já a estrutura dos solos com os fertilizantes de amônia, foi a granic e granoidic com um diâmetro de partícula médio de $70\mu\text{m}$. Com a ureia o tamanho foi de $200\mu\text{m}$ com vazios maiores entre as partículas em comparação com os outros solos (Goh *et al.*, 1987).

2.6. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

Os solos em geral, são compostos por três fases, líquida, sólida e gasosa. A fase sólida é constituída por matéria orgânica e/ou matéria inorgânica. Em um perfil de solo tropical o mais comum é que o conteúdo de matéria orgânica diminua com a profundidade e que a composição mineralógica mude ao longo do perfil.

O solo apresenta dois tipos de massa específica, a massa específica dos grãos, a qual é obtida a partir da relação entre a massa e o volume do material sólido, omitindo o volume de vazios presente entre as partículas, e a massa específica aparente, a qual, ao contrário, leva em conta esse volume de vazios. Estes dois tipos de Massa específica são necessários para a obtenção de resultados em diferentes ensaios de laboratório. A massa específica dos grãos é também tratada em termos de peso específico e de densidade real, sendo que neste último caso ela é obtida normalizando-se a massa específica dos sólidos em relação a massa específica da água.

O ensaio de sedimentação, é um dos ensaios onde seus resultados podem variar consideravelmente, segundo o valor de massa específica dos grãos utilizado nos cálculos. Este ensaio é feito para determinar a distribuição granulométrica dos solos finos, e seu princípio tradicional é que maior o tamanho da partícula mais rápido ela cairá (Budhu, 2000). Essa velocidade de queda é determinada a partir da lei de Stokes, na qual é assumida que a partícula é esférica e que não se apresentam colisões entre elas, o que claramente não se cumpre na sua totalidade (Das, 2001). A partir da equação de velocidade de precipitação se obtém a equação para a determinação do diâmetro das partículas, equação (2.2).

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s-1)\rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (2.2)$$

Onde, D: Diâmetro das partículas; η : Viscosidade da água; L: Distância de queda das partículas; t: Tempo de queda; ρ_w : Densidade da água; G_s : Densidade dos grãos.

Para a Eq. 2.2, sempre se tem utilizado um valor médio da densidade dos grãos do solo, mas as diferentes densidades dos minerais que compõem esse solo, podem eventualmente interferir no processo de sedimentação, o qual sempre se tem atribuído só ao tamanho dos grãos.

A densidade dos grãos pode ser obtida experimentalmente por meio de um picnômetro convencional, seguindo o procedimento descrito na NBR 6508 ou usando um pentapicnômetro, o qual é um equipamento que usa o princípio de Arquimedes (deslocamento de fluido) e a lei de Boyle (expansão de gás) para encontrar o volume real do material sólido e com ele determinar a densidade real dos grãos. O uso do gás garante uma maior acurácia, e embora possam ser usados vários tipos deles, é recomendável usar o Hélio devido a que este apresenta um menor tamanho atômico podendo penetrar nas fissuras e poros menores (Quantachrome Instruments, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as características do solo utilizado e os procedimentos seguidos em cada um dos ensaios.

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Características do solo em estudo

Para a execução dos diferentes ensaios de laboratório desta pesquisa, foram colhidas amostras de solo deformado em um perfil de intemperismo tropical. Os solos foram coletados do campo experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia (PPGG) da Universidade de Brasília (UnB) nas profundidades de 1 m, 5 m, 9 m e 11 m. A posição geográfica do campo experimental é definida pelas coordenadas 15°45'56" de latitude sul e 47°52'20" de longitude oeste.

Pastore em 1998, fez uma divisão deste perfil de solo em três horizontes. No primeiro horizonte distribuído de 0 m a 8,8 m, se encontra um solo residual laterítico, solo profundamente intemperizado, composto por argila arenosa nos primeiros 5 m e argila pedregulho arenosa na profundidade restante sendo as duas argilas de cor vermelho escura, o segundo horizonte de 8,8 m a 10,30 m, corresponde a um solo de transição, ou seja uma mistura de solo laterítico no primeiro metro de profundidade e de algumas estruturas reliquiares nos seguintes 50 cm. Finalmente de 10,30 m a 15 m tem-se um solo saprolítico, solo pouco intemperizado, composto por uma intercalação de quartzo no primeiro metro de profundidade da camada e na profundidade restante se tem um silte argiloso de cor vermelho mais claro que os anteriores e com algumas porções de cor amarelo. Na Figura 3.1 se mostram os solos das quatro profundidades utilizadas na pesquisa.



Figura 3.1. Aspecto físico dos solos de cada uma das profundidades utilizadas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Quando os solos são submetidos à secagem prévia, estes podem apresentar microfissuras e/ou ficar mais suscetíveis à quebra, devido a dois fatores: 1) durante a extração da água que se encontra no exterior (macroporosidade) e no interior dos agregados (microporosidade), o aumento da sucção pode gerar contração diferenciada induzindo o surgimento de fissuras e trincas no solo; 2) sendo o solo e os próprios agregados compostos por minerais com diferentes índices de dilatação térmica, a secagem por acréscimo de temperatura pode induzir o aparecimento de fissuras e trincas (Camapum de Carvalho *et al.*, 2015). Diante disso, optou-se por realizar as misturas com os insumos agrícolas assim como os diferentes ensaios usando o solo na sua condição natural. Outro aspecto que levou à adoção desse procedimento foi o fato de que em campo a incorporação dos insumos agrícolas aos solos se dá com estes em condições naturais de umidade.

3.1.2. Aditivos químicos utilizados

Durante a pesquisa foram utilizados 9 aditivos químicos, 5 deles puros e os outros 4 foram compostos formados a partir desses insumos puros. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram selecionados os insumos puros mais utilizados na indústria da agronomia Brasileira, os quais foram o Cloreto de Potássio, o Calcário Dolomítico, a Ureia (Nitrogênio), o Super Simples (Fosforo), e o Calcário Calcítico (Figura 3.2). Como os últimos três insumos não vinham em pó como o Cloreto e o Calcário Dolomítico, estes foram moídos manualmente até atingir um tamanho inferior aos 0,149 mm, ou seja, passar a malha número 100 de modo a não prejudicar o ensaio de sedimentação.



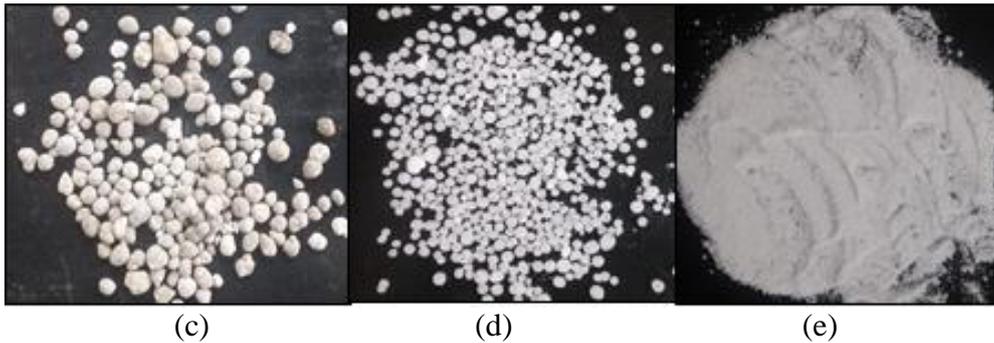


Figura 3.2. (a) Cloreto de Potássio, (b) C. Dolomítico, (c) Super Simples, (d) Ureia e (e) C. Calcítico

Os 4 compostos utilizados se formaram da mistura em quantidades equivalentes dos diferentes aditivos químicos puros. O primeiro composto está formado da mistura do Super Simples, Ureia e Cloreto de Potássio. Nessa pesquisa, essa combinação foi titulada SUC e foi feita porque estes são os compostos químicos que compõem um dos fertilizantes mais utilizados no Brasil, o qual é conhecido como NPK (Nitrogênio, Fosforo e Potássio). O segundo composto corresponde à mistura do SUC com o Calcário Dolomítico e o terceiro resulta da mistura do SUC com o Calcário Calcítico. Essas duas combinações foram feitas tendo em conta que os Calcários Dolomítico e Calcítico são muito utilizados para correção do pH dos solos. Finalmente o quarto composto surge da mistura da Ureia com o Calcário Calcítico. A seleção dessa combinação surgiu dos resultados obtidos por (Gonzales, 2009) que mostra que após 15 dias de ter adicionado ao solo a mistura da Ureia com um composto contendo Cálcio, ocorreu a precipitação de Carbonato de Cálcio.

3.2. MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília, seguindo em geral, as metodologias propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.2.1. Misturas solo – aditivo químico

As misturas feitas nesta pesquisa contemplam diferentes teores dos aditivos químicos, em estado puro e como compostos, e foram mantidas por diferentes tempos de exposição do solo ao insumo. Os quatro teores utilizados, 2%, 4%, 8% e 10%, foram escolhidos pensando na acumulação deles no solo com o tempo.

Na preparação das misturas inicialmente pegou-se e colocou-se em pequenos sacos plásticos 100g de solo em sua condição natural para cada uma das profundidades em estudo, 1 m, 5 m, 9

m e 11 m. Em seguida adicionou-se às amostras os teores dos aditivos químicos utilizados em seu estado natural e misturou-se o solo ao aditivo. Esta mistura ficou em repouso por um período de 24 horas na câmara úmida em condições de temperatura estável, para depois ser utilizada nos diferentes ensaios de laboratório. Este método foi adotado com o objetivo de conhecer se os insumos agrícolas em seus diferentes teores utilizados, geravam mudanças na textura e, por consequência, estrutura do solo por meio de trocas iônicas, reações químicas e interferência nas forças interativas entre os minerais.

Tanto o solo quanto os fertilizantes, não foram submetidos a processos de secagem porque as agregações presentes nos solos tropicais podem experimentar microfissuras e os aditivos químicos geralmente são usados em seu estado natural de comercialização.

Como se obtiveram mudanças nas granulometrias de cada uma das misturas mencionadas anteriormente, se decidiu trabalhar com mais um tempo de exposição (7 dias) e com os compostos SUC e SUC mais Calcário Dolomítico. Tendo em conta que os resultados das misturas foram proporcionais ao conteúdo de insumo, se optou por utilizar apenas os teores de 4% e 10% para os compostos.

A Ureia como meio para induzir a precipitação do Carbonato de Cálcio, foi estudada por (Gonzales, 2009). Dos meios estudados por Gonzales, o B4 foi quem gerou maior precipitação do composto calcítico em comparação ao meio com Ureia. Tendo em conta que o Carbonato de Cálcio contribui para o melhoramento das propriedades do solo e que a Ureia faz parte dos aditivos químicos analisados nesta pesquisa, se considerou trabalhar nessa análise com os insumos SUC mais Calcário Calcítico e Ureia mais Calcário Calcítico. Na pesquisa de Gonzales (2009), foi adotado um tempo de exposição de 15 dias, que foi o tempo no qual outros pesquisadores determinaram que se iniciava o processo de precipitação. Por esta razão se determinou que para estes dois novos compostos, o tempo de exposição solo - insumo agrícola seria de 24 horas e 15 dias.

3.2.2. Análises químicas e DRX

A composição química do solo em seu estado natural para cada uma das profundidades em estudo, foi determinada pelo laboratório SOLOQUÍMICA Análises de Solo Ltda. Os ensaios de difração de raios X (DRX) destinados à análise da composição mineralógica de cada um destes solos, foram realizados em Furnas Centrais Elétricas S.A.

3.2.3. Teor de umidade do solo

Os teores de umidade dos solos oriundos das diferentes profundidades, foram obtidos com base no método da estufa apresentado na Norma Brasileira NBR 6457/16. Este dado é indispensável nos cálculos dos ensaios de distribuição granulométrica.

3.2.4. Peso específico dos grãos

O peso específico dos grãos ou dos sólidos pode ser obtido experimentalmente por meio de um picnômetro convencional, seguindo o procedimento descrito na NBR 6508/16, mas neste estudo, esses valores foram obtidos usando um pentapicnômetro da marca Quantachrome (Figura 3.3).



Figura 3.3. Pentapicnômetro Quantachrome

3.2.5. Ensaio para a determinação da distribuição granulométrica de solos finos

O ensaio para determinar a distribuição granulométrica dos solos é feito segundo a norma brasileira ABNT NBR 7181/16. Considerando que o objetivo da pesquisa é avaliar se gerasse algum tipo de mudança na textura e/ou estrutura e no comportamento do solo quando misturado com os insumos agrícolas, se fizeram as seguintes mudanças na forma de execução deste ensaio:

- Segundo a norma que rege este ensaio o solo a ser utilizado deve passar na peneira de malha #10 (2 mm), mas como não se realizava uma secagem previa, os solos das profundidades de 5 m, 9 m e 11 m que se encontravam mais úmidos que o solo da profundidade de 1 m, apresentavam agregações de partículas gerando grãos visualmente maiores que impediam a passagem de todo o solo por esta abertura, por isso, para a execução dos ensaios de sedimentação, se utilizaram os solos em estado natural sem os passar por nenhuma peneira.

- Considerando-se o fato de que seriam usadas amostras úmidas nos ensaios se adotou como quantidade de solo 100g e não 70g como previsto na norma para os tipos de solo estudados. Também o fato do solo natural, em especial os mais intemperizados, serem ricos em agregados, o uso de uma maior quantidade de solo facilitava a obtenção de leituras com o densímetro.

- Na parte da sedimentação, não foi usado o hexametáfosfato de sódio (defloculante) nem o aparelho dispersor já que estes perturbariam o estado do solo que se pretendia analisar. Por isso, todos os ensaios foram feitos apenas com água destilada, sendo agitados manualmente com um agitador de borracha por dois minutos apenas para homogeneizar a solução solo-água, procedendo-se em seguida às leituras densimétricas.

- Segundo a norma, a lavagem é feita com água caindo a baixa pressão, mas neste caso essa lavagem foi feita cuidadosamente por imersão, ou seja, colocando a peneira abaixo da superfície da água em um recipiente de maior diâmetro contendo a água. A peneira foi agitada suavemente na água, para evitar a desagregação das possíveis micro-agregações geradas, durante os respectivos tempos de exposição e/ou durante o ensaio de sedimentação. Utilizou-se na lavagem a peneira # 200 conforme previsto em norma. A mudança em relação à norma foi feita buscando preservar os agregados neoformados.

Os ensaios de sedimentação, uma vez que a amostra tivesse completado o tempo de exposição solo - insumo, eram iniciados deixando-se a mistura em água destilada por um tempo não inferior a 12h como está descrito na norma, e continuava-se o ensaio tendo em conta as mudanças anteriormente descritas.

3.2.6. Análise de solubilidade dos aditivos químicos

Com o objetivo de conhecer se os aditivos químicos utilizados se dissolviam completamente na água, ou seja, se o tamanho de seus grãos poderia influenciar nos resultados das distribuições granulométricas de cada uma das misturas feitas, foi executado o ensaio de sedimentação para cada fertilizante.

Neste caso, tendo em conta que a densidade dos aditivos químicos é menor com relação ao solo, se usou 100g de cada um dos insumos puros e compostos para assim obter leituras com o densímetro.

Para conhecer a porcentagem de insumo dissolvido na água, inicialmente foi feito, previamente à análise granulométrica, o peneiramento de cada um dos aditivos químicos considerando a

malha 325 além das peneiras citadas na norma. Posteriormente para a lavagem que se faz no ensaio após o ensaio de sedimentação, se utilizou tanto a malha 200 quanto a malha 325. Com os valores obtido destes dois procedimentos se estimou a solubilidade que apresenta cada um dos insumos utilizados na pesquisa.

3.2.7. Limites de Atterberg

As determinações do Limite de Liquidez (w_l) e do Limite de Plasticidade (w_p) foram realizadas seguindo os procedimentos estabelecidos nas normas NBR 6459/16 e NBR 7180/16, respectivamente. Para a execução destes ensaios as normas estabelecem que o solo a ser utilizado deve passar na malha número 40 (0,42mm), mas como o solo encontrava-se com sua umidade natural, isto não foi possível, por isso, apenas se removeu as partículas visualmente maiores para evitar inconvenientes durante a execução dos ensaios.

3.2.8. Determinação do pH

Para analisar se os solos em estudo apresentam mudanças na concentração de íons de hidrogênio, produto de reações químicas entre os minerais que compõem estes solos e os aditivos químicos, foi usado o pHmetro portátil Q400HM (Figura 3.4).



Figura 3.4. pHmetro portátil Q400HM

Para os solos em estado natural, se determinou o pH tanto em água quanto em KCl com o objetivo de conhecer o Δ pH e o PCZ correspondente a cada profundidade. Posteriormente para os solos com aditivos químicos se fez a leitura do pH apenas em água, utilizando para os dois casos uma relação solo:água de 1:2,5.

Com estes resultados, pode-se relacionar a estabilidade estrutural do solo com o tipo de reação gerada com respeito ao PCZ correspondente a cada uma das profundidades.

3.2.9. Análise visual com lupa

Os solos tropicais profundamente intemperizados estão caracterizados por apresentar partículas agregadas e com difícil orientação, contrário aos solos pouco intemperizados e de clima temperado onde as partículas são independentes, ou seja, não existem agregações (Camapum de Carvalho et al., 2015). Portanto, nos solos tropicais, faz-se difícil a análise de uma partícula isolada, devendo-se analisar a estrutura em geral ou aquelas agregações presentes nos solos, já que uma vez misturados com substâncias químicas, estas estruturas podem sofrer variações. Mediante o uso de uma lupa eletrônica da marca AVANTSCOPE (Figura 3.5), se obtiveram as imagens das estruturas de cada uma das combinações solo-aditivo químico feitas com um aumento de 100 vezes.



Figura 3.5. Lupa eletrônica AVANTSCOPE

3.3. VALOR DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para estabelecer se é necessário considerar na determinação dos tamanhos de partículas do ensaio de sedimentação, a variação com o tempo de ensaio da massa específica dos grãos (ρ_s) da mistura solo-água, em lugar de um valor médio como tradicionalmente tem sido feito, se analisaram os solos de 1 m e 11 m de profundidades oriundos do campo experimental da UnB.

3.4.1. Amostra

Inicialmente se pegou 140g de cada uma das amostras, e misturaram-se com 250ml de agente dispersor, representando assim, para ambos os casos, o dobro do recomendado pela norma correspondente ao ensaio de sedimentação ABNT 7181 (2016). Essa alteração foi adotada de modo a que se dispusesse de solo suficiente para fazer os ensaios de densidade real usando o pentapicnômetro.

As amostras foram deixadas em repouso por um período mínimo de 12 horas e depois submetidas à ação do aparelho dispersor seguindo os 15 minutos estabelecidos na norma. Depois, se colocou cada uma das misturas nas provetas onde se deixou sedimentar, por um tempo de 10 minutos a amostra de 1 m, e por 1 hora a amostra de 11 m.

Completado o tempo de sedimentação, se procedeu à coleta de 5 amostras ao longo da proveta, a mesma foi feita removendo-se em cada etapa, os 200 ml superiores até a completa remoção da mistura solo-água, ou seja, até a remoção dos 1000 ml contidos em cada proveta, conforme ilustrado na Figura 3.6. Destaca-se que a adoção dos intervalos de tempo distintos para os dois solos se deu de modo a se trabalhar com trechos intermediários das curvas granulométricas de sedimentação.

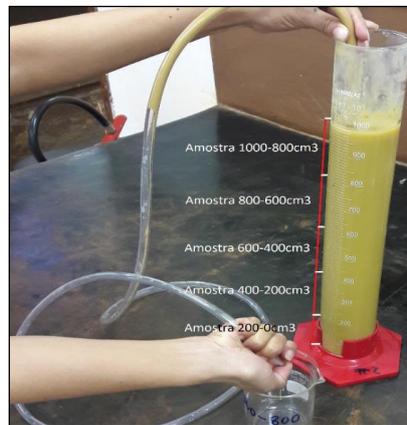


Figura 3.6. Procedimento de coleta das amostras para a determinação da massa específica.

3.4.2. Obtenção da massa específica dos grãos e análise granulométrica

As amostras coletadas foram levadas para a estufa e após secagem se determinou a massa específica de cada uma delas mediante o uso do pentapicnômetro disponível no Laboratório de Geotecnia da UnB.

Adicionalmente foram obtidas as curvas granulométricas com uso de defloculante de cada uma das amostras, visando verificar se apresentam diferenças significativas entre a curva obtida com o ρ_s médio do solo como um todo, que é a que se usa comumente, e as curvas obtidas usando os valores mínimo e máximo entre as densidades determinadas segundo com o método anteriormente descrito.

Complementarmente se avaliou a influência das massas específicas mínima e máxima apresentadas na literatura para os minerais presentes nas profundidades de 1 m e 11 m. Para 1 m foram consideradas as massas específicas da gibbsita (ρ_s mínima) e da hematita (ρ_s máxima).

Para a profundidade 11 m se usou a densidade da caulinita (ρ_s mínima) e da ilmenita (ρ_s máxima).

As figuras 3.7 e 3.8 apresentam fluxogramas que mostram respectivamente, de modo resumido, a metodologia desenvolvida para a avaliação da variação da massa específica dos sólidos com o tempo de sedimentação, e a metodologia adotada para a caracterização das misturas de solo com os diferentes aditivos químicos.

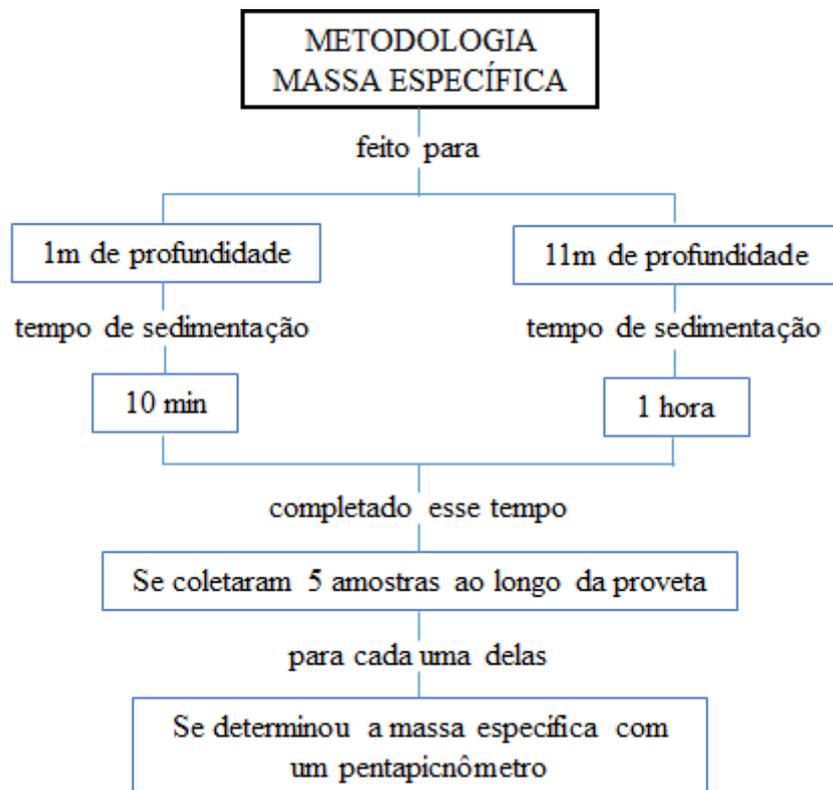


Figura 3.7. Fluxograma com a metodologia desenvolvida para a avaliação da variação da massa específica com o tempo de sedimentação

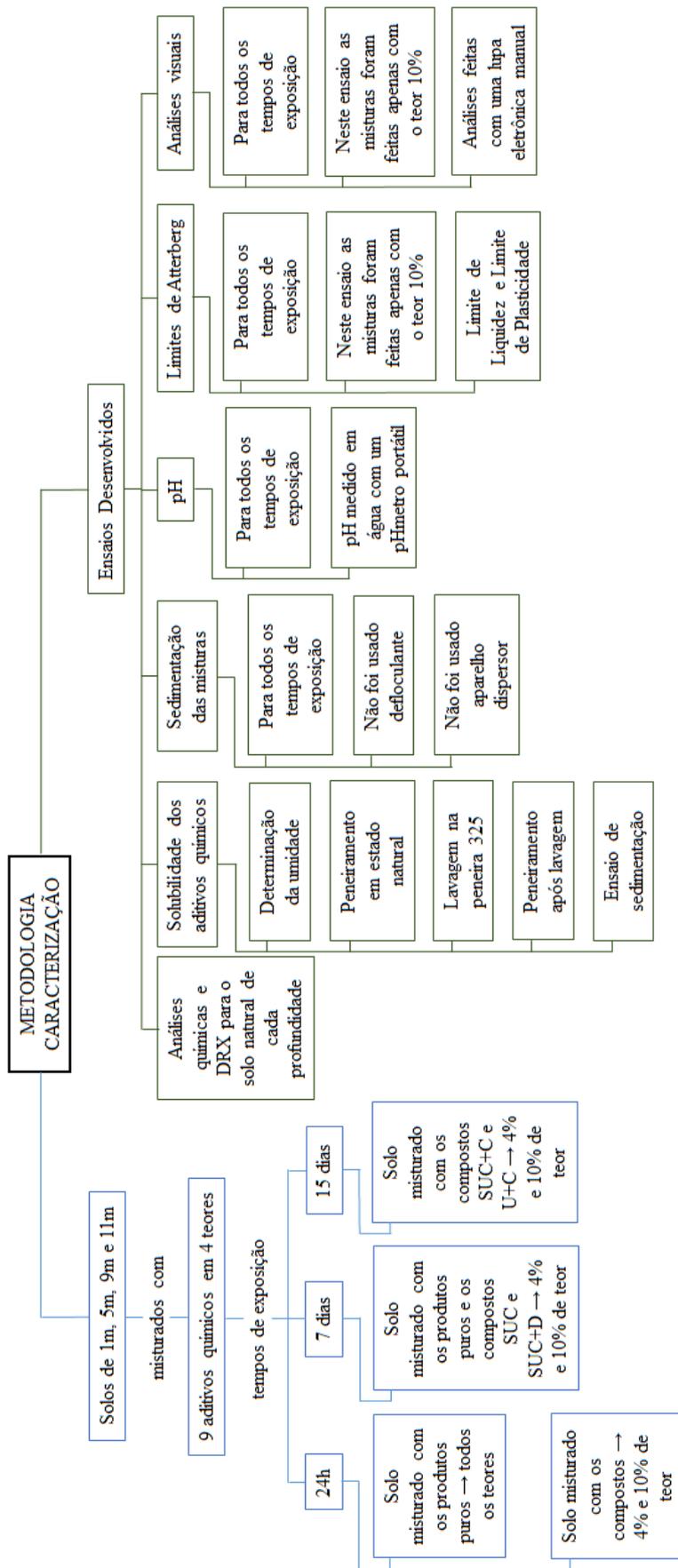


Figura 3.8. Fluxograma mostrando a metodologia desenvolvida para a caracterização das misturas de solo com os diferentes aditivos químicos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Análises químicas foram realizadas pelo laboratório da Soloquímica Análises de Solo Ltda, para conhecer a composição química de cada uma das profundidades em seu estado natural e que compõem o perfil de intemperismo em estudo. Os resultados se encontram na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Composição química do perfil de solo em estudo.

| Composição Química | Unidades | 1m | 3m | 5m | 7m | 9m | 11m |
|-----------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Fosforo (P) | mg/dm ³ | 2,6 | 0,5 | 0,5 | 8,2 | 0,5 | 11,6 |
| Cálcio (Ca) | mE/100mL | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Magnésio (Mg) | mE/100mL | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Potássio (K) | mE/100mL | 0,55 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| Sódio (Na) | mE/100mL | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Alumínio (Al) | mE/100mL | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,6 |
| Acidez (H+Al) | mE/100mL | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 4,3 | 3 |
| Soma das bases | mE/100mL | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| CTC | mE/100mL | 3,8 | 2,4 | 2,4 | 2,6 | 4,5 | 3,4 |
| Saturação por bases | % | 34 | 10 | 10 | 9 | 5 | 11 |
| Saturação por Al | % | 7 | 29 | 30 | 29 | 71 | 62 |
| Saturação por Na | % | 5 | 16 | 13 | 12 | 12 | 8 |
| Carbono Orgânico | g/kg | 5,1 | 2,2 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Matéria Orgânica (MO) | g/kg | 8,8 | 3,8 | 2,8 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Boro disponível (B) | ppm | 0,01 | 0 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cobre disponível | ppm | 1,1 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| Ferro disponível | ppm | 65,2 | 24,4 | 31,7 | 44 | 29,2 | 13,2 |
| Manganês disponível | ppm | 47,9 | 0,9 | 1 | 0,9 | 0,4 | 0,7 |
| Zinc disponível | ppm | 1,23 | 0,11 | 0,2 | 3,96 | 0,2 | 5,24 |
| Enxofre disponível | ppm | 10,3 | 5,2 | 4,4 | 9,5 | 10,8 | 4,7 |

Uma das características dos solos profundamente intemperizados é a presença de oxi-hidróxidos de Alumínio e Ferro na sua composição química, os quais segundo o teor presente em cada uma das camadas, podem contribuir de modo significativo para alterações consideráveis no comportamento mecânico do solo (Camapum de Carvalho et al., 2012). Na Tabela 4.1 se observa uma variação com a profundidade do ferro disponível no solo, enquanto o Alumínio livre fica quase constante. Os resultados apresentados na Tabela 4.1 apesar de terem certamente sofrido alterações, devido a fatores antrópicos, apontam para um perfil de solo composto por camadas com diferentes graus de intemperização e composição mineralógica, o que faz com que cada uma delas apresente diferentes comportamentos e reações quando entra em contato com substâncias como os insumos agrícolas.

A Figura 4.1 mostra a variação do conteúdo de matéria orgânica (MO) e da capacidade de troca catiônica (CTC) ao longo da profundidade.

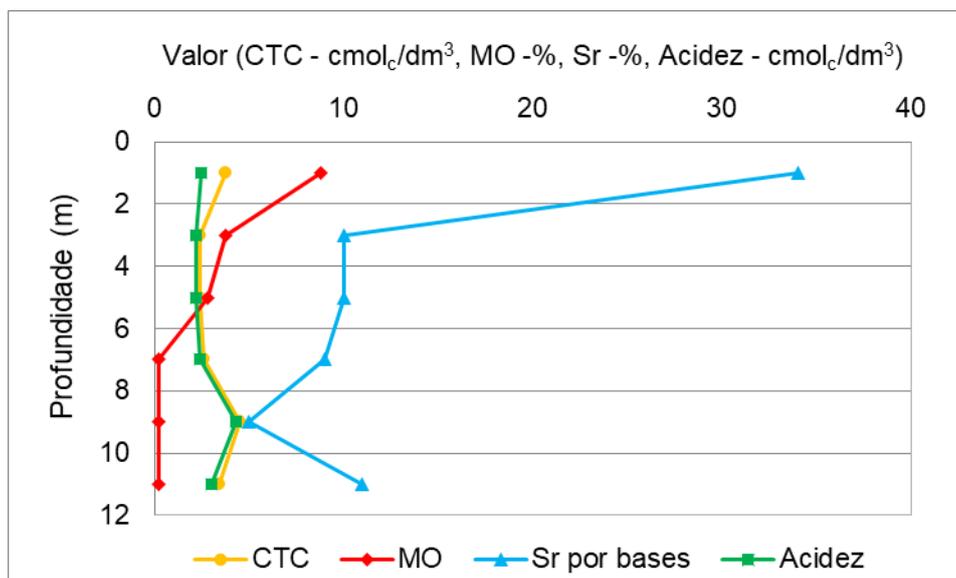


Figura 4.1. CTC, MO, saturação por bases e acidez ao longo do perfil.

A capacidade de troca catiônica (CTC) de um solo depende de diferentes fatores, entre eles do conteúdo de matéria orgânica (maior MO, maior CTC) e da quantidade e tipo de argila que faz parte da estrutura do solo (Besoain et al., 1985). Em termos gerais a CTC do perfil é baixa no sistema de classificação da Soloquímica por ter valores inferiores a 7.2 g/kg, e o valor um pouco mais elevado registrado para a profundidade de 1 m deve-se provavelmente ao maior conteúdo de matéria orgânica registrado para essa profundidade, e na medida que esse conteúdo de MO diminui, a CTC passa a depender da composição mineralógica do perfil.

Analisando-se o perfil de solo (Tabela 4.1 e Figura 4.1) observa-se que em termos de CTC é provável, devido ao seu maior valor, uma maior sensibilidade estrutural e de comportamento do solo aos insumos agrícolas para as profundidades de 1 m, 9 m e 11 m destacando-se que o valor mais elevado foi registrado para a profundidade 9 m. Além disso, cabe destacar que o solo de 1 m de profundidade por ter o maior conteúdo de matéria orgânica com relação às outras profundidades, apresenta o segundo maior valor de CTC para o perfil, apesar de ser uma camada superficial apresentando maior grau de intemperismo e ser composta principalmente por oxihidróxidos de ferro e alumínio e argilas do tipo 1:1 que segundo Besoain (1985), apresentam menor CTC que aquelas do tipo 2:1 as quais se encontram em camada inferiores do perfil. Portanto, é possível estimar que, o efeito dos aditivos químicos no solo será o resultado da combinação de muitos fatores, neles incluindo-se a CTC, o teor de MO e a composição mineralógica.

Os resultados apresentados mostram ainda uma quantidade baixa de elementos como o Al, o Na, o K, o Mg, o Ca, e o P, onde a quantidade deste último elemento na profundidade de 11 m é considerada normal, sendo então possível que nesta profundidade o solo não reaja com o Super Simples, o qual é um fertilizante fosfatado, do mesmo jeito com que reagiria com os outros insumos agrícolas.

Em termos agrícolas, o Manganês e principalmente o Ferro, são micronutrientes que as plantas precisam para seu desenvolvimento, por isso se observa, na Tabela 4.1, uma quantidade considerável deles na superfície a qual vai diminuindo consideravelmente com a profundidade. Nos solos com pH inferior a 6 e com presença de matéria orgânica se gera um ambiente propício para a liberação destes elementos químicos, mas seu conteúdo no solo não está relacionado, até agora, com a CTC do solo (Sierra, 2017).

Finalmente outro resultado de interesse para esta pesquisa, é o correspondente à saturação por bases (V%). O valor obtido para o perfil de solo em estudo é baixo na superfície (20% a 40%) e muito baixo (<20%) nas outras profundidades, principalmente para a profundidade 9 m, o que significa que são poucos os cátions básicos (Ca, Mg, Na e K) disponíveis na superfície das partículas para o intercâmbio iônico. Observa-se que a menor saturação de bases registrada para a profundidade de 9 m corresponde a uma maior acidez total (Figura 4.1), sugerindo um maior intercâmbio iônico durante as reações com os aditivos químicos.

Ensaio de pH em água e KCl também foram feitos tanto no laboratório da Soloquímica quanto como pela autora dessa dissertação no Laboratório de Geotecnia do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB, sendo que neste caso as determinações foram efetuadas apenas para as profundidades estudadas nessa pesquisa. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.2. As diferenças entre os resultados podem estar ligadas aos equipamentos utilizados, às metodologias adotadas e ao período em que os ensaios foram realizados.

Tabela 4.2. Resultados de pH em água e KCl feitos no laboratório da Soloquímica e em um pHmetro portátil.

| Profundidade | Soloquímica | | | Laboratório de Geotecnia | | |
|--------------|-------------|------------------------|-------------|--------------------------|------------------------|-------------|
| | pH em KCl | pH em H ₂ O | Δ pH | pH em KCl | pH em H ₂ O | Δ pH |
| 1 | 4,9 | 5,8 | -0,9 | 5,9 | 6,1 | -0,2 |
| 3 | 5,0 | 5,9 | -0,9 | ----- | ----- | ----- |
| 5 | 5,4 | 5,6 | -0,2 | 5,9 | 6,2 | -0,3 |
| 7 | 4,8 | 5,6 | -0,8 | ----- | ----- | ----- |
| 9 | 4,2 | 5,8 | -1,6 | 4,2 | 5,2 | -1,0 |
| 11 | 4,0 | 5,4 | -1,4 | 4,3 | 4,7 | -0,4 |

Os resultados apresentados mostram que o perfil de solo estudado é potencialmente ácido, ou seja, apresenta valores de pH menores que 7. Já os valores de Δ pH determinados são em todos os casos negativos, mas tendo em conta que este perfil corresponde a solos profundamente intemperizados nas camadas mais superficiais, deveria nesses casos apresentar valores de Δ pH positivos, indicando a presença predominante de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio como foi determinado por Delgado (2002) ao estudar solos da mesma área. Isso leva a pensar que pode ter ocorrido ao longo do tempo, uma contaminação química do solo, fazendo com que os valores de Δ pH agora obtidos sejam negativos, o qual corresponde ao contrário do esperado já que como se falou anteriormente, esses solos sendo predominantemente compostos por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, o Δ pH deveria ser positivo. Isso não significa uma variação no grau de intemperismo do solo, mas apenas uma variação nas cargas superficiais pela possível contaminação.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A composição mineralógica do solo oriundo de cada uma das profundidades em estudo (1 m, 5 m, 9 m e 11 m), foi determinada mediante o uso do ensaio de DRX. Os difratogramas com a análise das amostras integrais, são apresentados nas Figuras 4.2 a 4.5. Os picos maiores que se apresentam em cada uma dessas figuras, correspondem aos principais minerais que compõem o solo. Nas Figuras 4.2 e 4.3 o mineral principal seja o quartzo tendo à gibbsita e a caulinita como subordinados e traços de outros minerais. Para a profundidade de 9 m representada na Figura 4.4, o quartzo continua sendo o principal mineral e no caso dos subordinados além dos dois anteriormente mencionados se encontram a goethita e a muscovita. Finalmente na Figura 4.5 correspondente aos 11 m, os minerais principais são a caulinita e a illita e os subordinados são o quartzo e a muscovita.

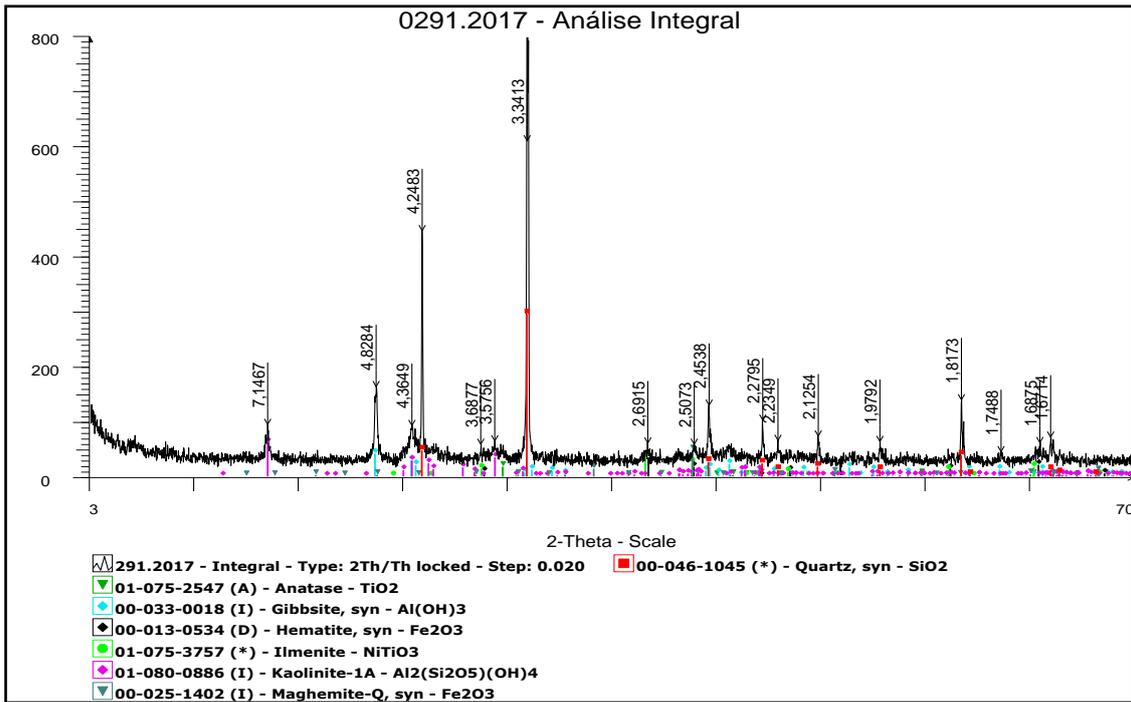


Figura 4.2. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 1 m de profundidade do campo experimental do PPGG.

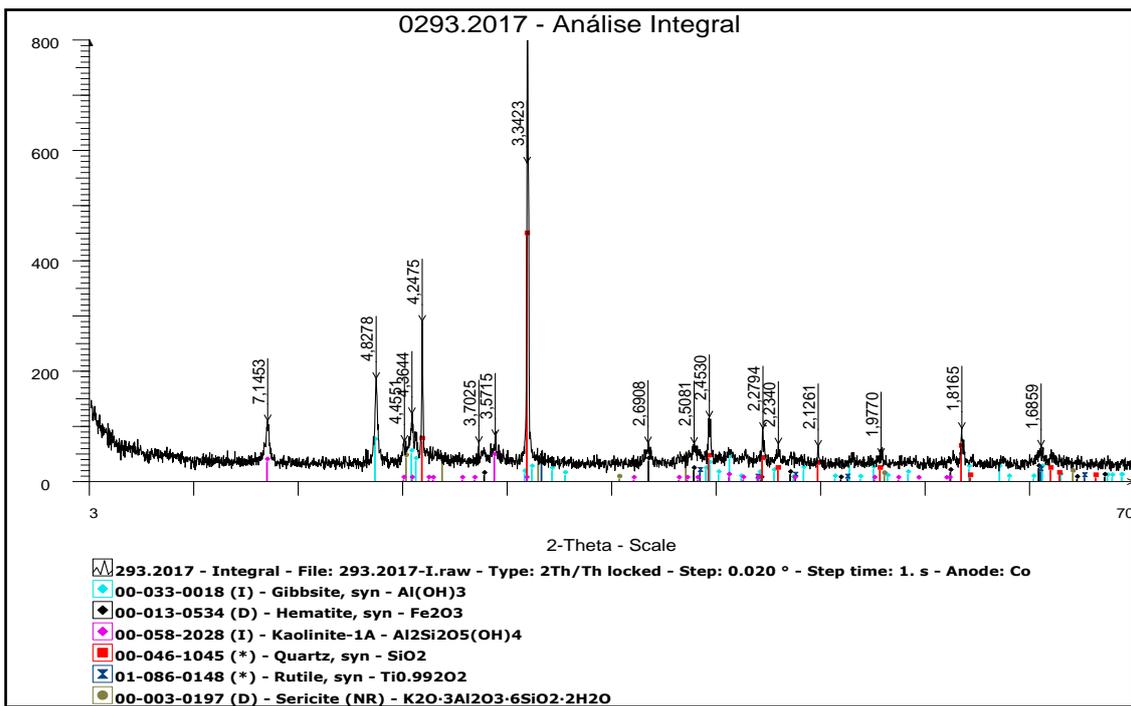


Figura 4.3. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 5 m de profundidade do campo experimental do PPGG.

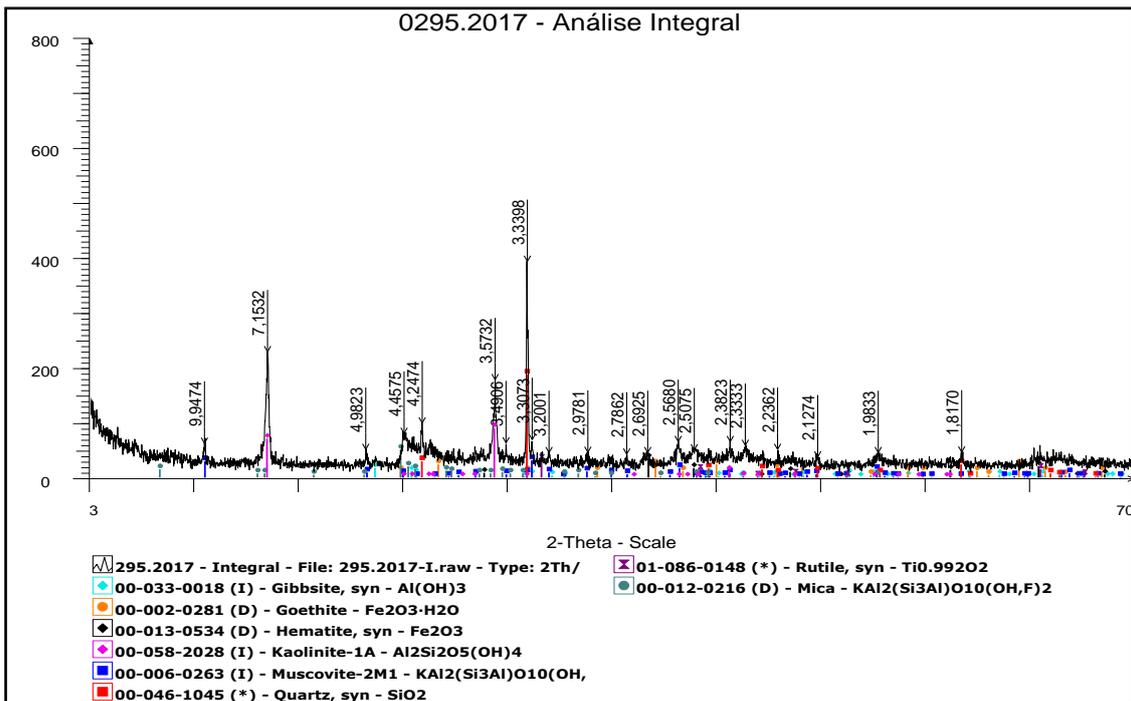


Figura 4.4. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 9 m de profundidade do campo experimental do PPGG.

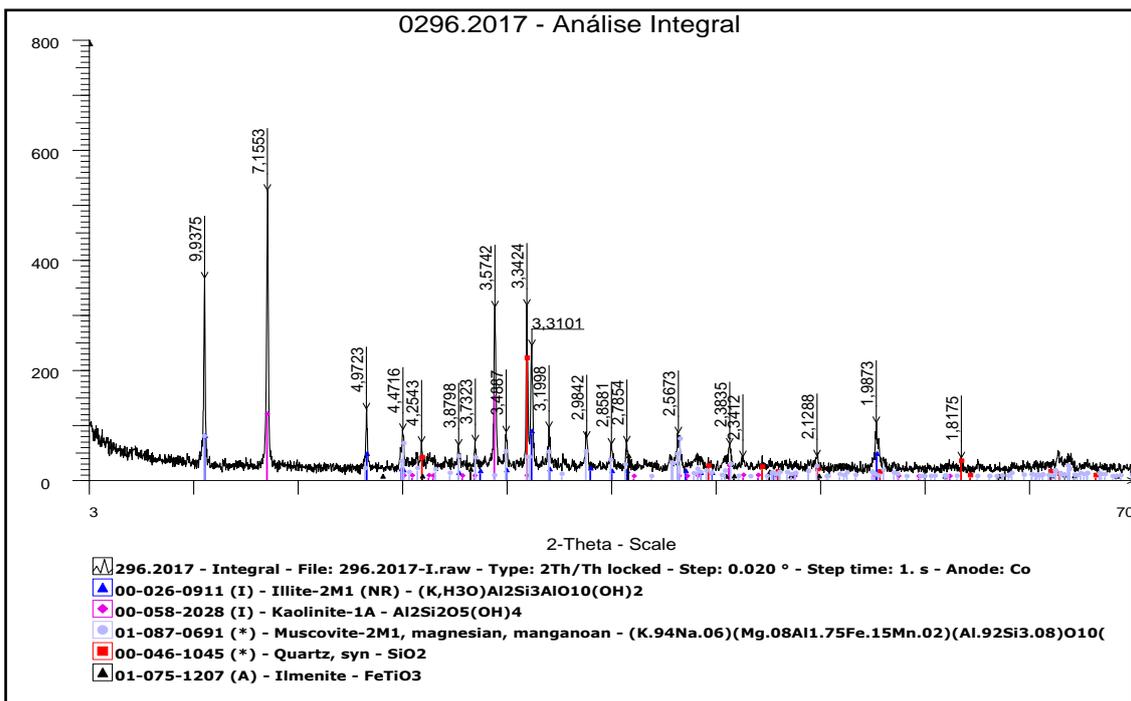


Figura 4.5. Difratoograma de raio X para a amostra coletada a 11 m de profundidade do campo experimental do PPGG.

A análise em perfil realizada considerando-se as profundidades 1 m, 3m, 5 m, 7m, 9 m e 11 m agrupando-se a illita a muscovita e a mica no grupo das micas é mostrada na Figura 4.6. Verifica-se nessa figura que a partir da zona ativa limitada nesse perfil de solo a 3 m de profundidade o

teor de gibbsita diminui com o aumento da profundidade enquanto o de caulinita aumenta. Verifica-se ainda a presença de paralelismo entre os perfis registrados para a gibbsita e para o quartzo o que levou Rodrigues (2017) a apresentar a hipótese de quartilização do perfil em consequência da formação da gibbsita. Removendo-se do total de quartzo o quartzo residual hipoteticamente oriundo da rocha ou formado em consequência da transformação da mica em caulinita se obtém um perfil de quartzo (quartzo neoformado) muito próximo do registrado para a gibbsita. Essa hipótese é objeto de estudos mais aprofundados para perfis de solo do Distrito Federal.

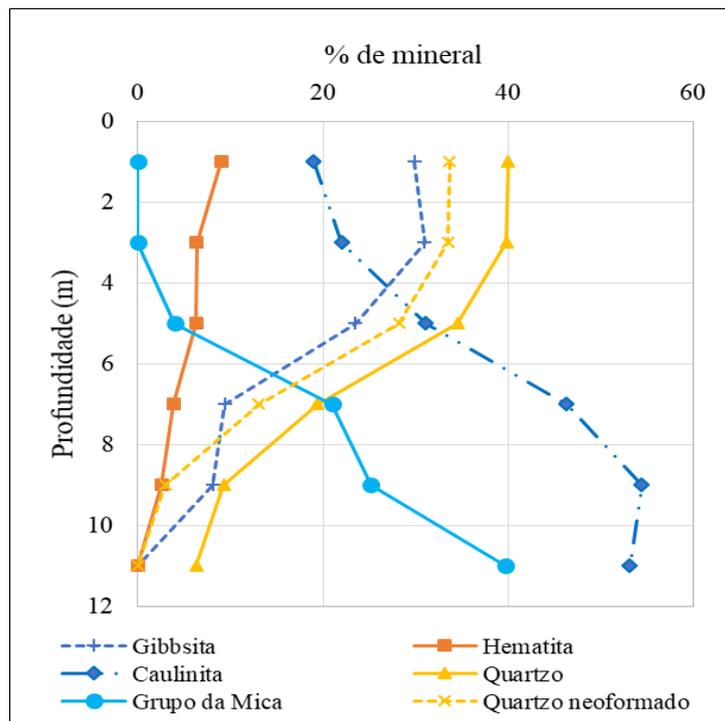


Figura 4.6 Perfil mineralógico

4.3. ANÁLISE DE SOLUBILIDADE DOS ADITIVOS QUÍMICOS

Durante a execução do peneiramento dos aditivos químicos prévio ao ensaio de sedimentação, se observou que alguns deles, principalmente os compostos, se agregavam em pequenos grumos esféricos devido à umidade natural que estes apresentam, fazendo com que muitas das partículas pequenas não passassem pelas peneiras. Cabe destacar que os insumos agrícolas não foram colocados em estufa para que se evitasse, com o aquecimento, eventuais variações na estrutura química dos mesmos e com isso mudanças nos resultados. Além disso, essa secagem em estufa não representaria o que acontece em campo, onde estes produtos são colocados no solo em seu estado natural.

A Tabela 4.3 apresenta as umidades de cada um dos aditivos químicos utilizados na pesquisa. Dos aditivos químicos puros, os que apresentam a maior porcentagem de umidade segundo os dados apresentados foram a Ureia e o Super Simples. Também pode-se observar que os compostos que contêm estes dois aditivos químicos, são os que apresentam a maior porcentagem de umidade de todos os insumos usados na pesquisa. Isto pode dever-se à liberação de hidrogênios (Nitrificação) que gera a Ureia ao reagir com outras substâncias, os quais ao unir-se com oxigênios presentes no meio, por exemplo, no Super Simples, podem gerar água incrementando com isto a umidade dos compostos. É importante destacar que a simples interação da ureia com o cloreto de potássio não gerou esse tipo de reação, pois a umidade da mistura é inferior à média das duas substâncias.

Tabela 4.3. Valores das umidades dos aditivos químicos usados na pesquisa.

| Umidade dos Aditivos Químicos (%) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------|---------------------|-------|------|-------|------|-------|
| Calcário Dolomítico | Calcário Calcítico | Super Simples | Cloreto de Potássio | Ureia | SUC | SUC+D | U+C | SUC+C |
| 0,27 | 0,15 | 4,43 | 0,56 | 2,64 | 6,05 | 5,97 | 1,41 | 4,94 |

SUC: Composto formado por Super Simples, Ureia e Cloreto de Potássio; SUC+D: Composto SUC mais Calcário Dolomítico; SUC+C: Composto SUC mais Calcário Calcítico; U+C: Composto formado por Ureia e Calcário Calcítico.

A Tabela 4.4 apresenta a análise granulométrica compreendendo o peneiramento fino dos aditivos químicos isolados e combinados utilizados na pesquisa. Observa-se que em estado natural a quantidade de gramas das misturas que passam na peneira de malha mais fina (0,045 mm), é em geral, inferior aos resultados obtidos para os aditivos químicos puros, mostrando assim certa interação entre eles quando misturados.

Tabela 4.4. Análise granulométrica dos aditivos químicos em estado natural.

| Abertura(mm) | Quantidade de Aditivo Químico Retido no Peneiramento em Estado Natural (gr) | | | | | | | | |
|--------------|---|--------------------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Calcário Dolomítico | Calcário Calcítico | Super Simples | Cloreto de Potássio | Ureia | SUC | SUC+D | U+C | SUC+C |
| 1,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,24 | 0,11 | 0,00 | 0,07 |
| 0,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,40 | 0,00 | 8,83 | 1,35 | 0,00 | 2,91 |
| 0,42 | 0,38 | 0,00 | 0,00 | 12,88 | 0,00 | 8,29 | 3,77 | 0,00 | 8,78 |
| 0,25 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 36,48 | 0,00 | 34,55 | 22,36 | 0,00 | 30,98 |
| 0,149 | 1,28 | 1,94 | 0,12 | 29,91 | 0,00 | 29,14 | 25,49 | 0,00 | 36,56 |
| 0,074 | 10,44 | 50,50 | 53,65 | 16,68 | 0,00 | 16,30 | 36,23 | 82,37 | 17,91 |
| 0,045 | 48,05 | 27,21 | 32,08 | 0,14 | 1,43 | 1,38 | 4,33 | 13,80 | 0,23 |
| Fundo | 39,25 | 20,35 | 14,15 | 1,41 | 98,57 | 1,27 | 6,36 | 3,83 | 2,56 |

A Tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos no peneiramento realizado após a lavagem e secagem dos aditivos e compostos químicos. Observa-se comparativamente aos resultados da Tabela 4.4 que todos os aditivos e misturas mostraram-se sensíveis ao processo de lavagem

chegando nos casos da Ureia e do Cloreto de Potássio a não ficar nada retido na peneira com abertura de malha igual a 0,045 mm.

Tabela 4.5. Análise granulométrica dos aditivos químicos após lavagem e secagem em estufa

| Abertura(mm) | Quantidade de Aditivo Químico Retido no Peneiramento Fino Após da Lavagem (gr) | | | | | | | | |
|--------------|--|--------------------|---------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Calcário Dolomítico | Calcário Calcítico | Super Simples | Cloreto de Potássio | Ureia | SUC | SUC+D | U+C | SUC+C |
| 1,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,42 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,25 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,00 |
| 0,149 | 1,23 | 0,65 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,44 | 0,00 | 2,30 |
| 0,074 | 7,07 | 41,91 | 9,52 | 0,00 | 0,00 | 0,97 | 4,70 | 0,20 | 17,12 |
| 0,045 | 22,63 | 22,78 | 7,62 | 0,00 | 0,00 | 1,71 | 8,24 | 11,14 | 8,87 |
| Fundo | 68,20 | 34,66 | 82,79 | 100,00 | 100,00 | 97,23 | 86,32 | 88,66 | 71,71 |

A Tabela 4.6 apresenta a porcentagem de material dissolvido na água ou reduzido a um tamanho inferior a 0,045 mm para cada uma das aberturas das peneiras usadas no ensaio de peneiramento. Foram considerados nos cálculos as frações retidas nas respectivas peneiras para a amostra em estado natural (p_i) e as frações retidas nas respectivas peneiras para a amostra após lavagem (p_f). Os valores mostrados na tabela foram obtidos a partir da equação 4.1.

$$\frac{p_i - p_f}{p_i} * 100 \quad (4.1)$$

Os traços que aparecem em alguns dos espaços dessa tabela, indicam que tanto no peneiramento em estado natural quanto no peneiramento após lavagem, não ficou material retido nas peneiras com esses tamanhos de abertura.

Tabela 4.6. Porcentagem de aditivo químico dissolvido em água ou reduzido a um tamanho inferior a 0,045 mm

| Abertura(mm) | Porcentagem de Aditivo químico Dissolvido ou Reduzido a Tamanhos Inferiores | | | | | | | | |
|--------------|---|--------------------|---------------|---------------------|-------|-----|-------|------|-------|
| | Calcário Dolomítico | Calcário Calcítico | Super Simples | Cloreto de Potássio | Ureia | SUC | SUC+D | U+C | SUC+C |
| 1,19 | ---- | ---- | ---- | 100 | ---- | 100 | 100 | ---- | 100 |
| 0,59 | ---- | ---- | ---- | 100 | ---- | 100 | 100 | ---- | 100 |
| 0,42 | 8 | ---- | ---- | 100 | ---- | 100 | 100 | ---- | 100 |
| 0,25 | 13 | ---- | ---- | 100 | ---- | 100 | 99 | ---- | 100 |
| 0,149 | 4 | 66 | 42 | 100 | ---- | 100 | 98 | ---- | 94 |
| 0,074 | 32 | 17 | 82 | 100 | ---- | 94 | 87 | 100 | 4 |
| 0,045 | 53 | 16 | 76 | 100 | 100 | -24 | -90 | 19 | -3757 |

A presença de valores negativos na Tabela 4.6 para a fração 0,045 mm, indica que compostos de maior tamanho presentes no p_i , ao serem desfeitos no processo de lavagem, geraram

elementos menores incrementando no p_f , o material acumulado na última peneira com relação à quantidade acumulada no p_i .

A Figura 4.7 apresenta os resultados do ensaio de sedimentação para cada um dos aditivos químicos utilizados nesta pesquisa. Tendo em vista que não foram efetuados ensaios de solubilização, considerou-se nos cálculos os totais de aditivos químicos usados como sólidos. Considerando-se a norma NBR 10.006, que adota como abertura de filtração o diâmetro de poros 0,45 μm para avaliar a solubilização, adotou-se o menor diâmetro registrado no ensaio de sedimentação como correspondente ao teor solubilizado e elaborou-se o gráfico da Figura 4.8 a ser confirmado posteriormente em ensaios específicos de solubilização, pois os teores considerados podem corresponder a partículas compreendidas entre o menor diâmetro determinado e 0,45 μm embora a horizontalidade dos trechos finais das curvas apontem para o acerto da hipótese adotada.

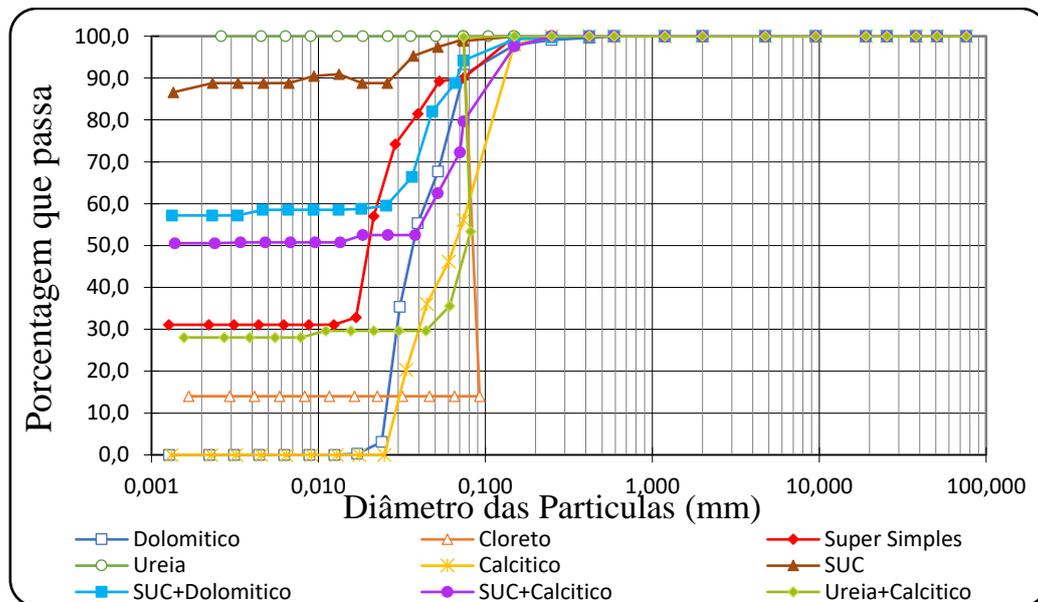


Figura 4.7. Distribuição granulométrica dos aditivos químicos.

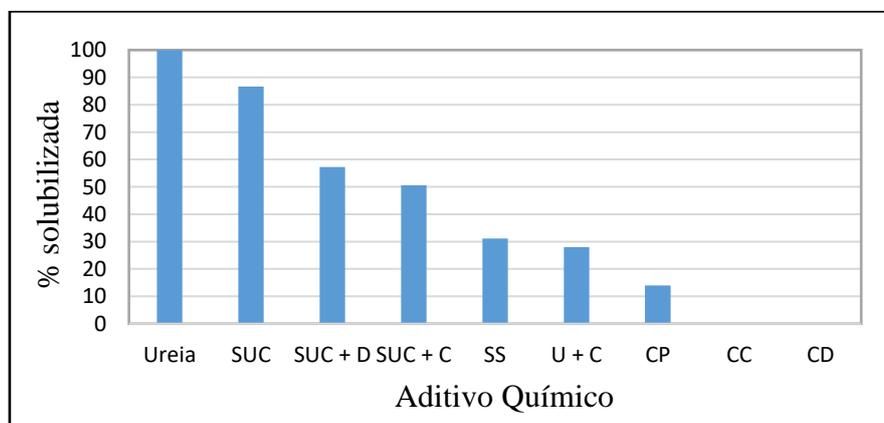


Figura 4.8. Porcentagem de aditivo solubilizada.

Observa-se na Tabela 4.6 que o 100% da Ureia que tinha ficado retida durante o peneiramento do material em seu estado inicial, foi dissolvida na água ou reduzida a um tamanho inferior a 0,045 mm apontando para o fato de que as partículas deste aditivo químico não intervêm nos resultados de granulometria, o que é confirmado pelos resultados do ensaio de sedimentação mostrado na Figura 4.7. Considerando-se essa observação, a Figura 4.7 mostra que todos os tamanhos de partícula da Ureia são menores do que o mínimo medido, resultado que corresponde à dissolução calculada. Para os demais aditivos e compostos de aditivos se percebe que na sedimentação a curva segue um valor que fica praticamente constante quando o diâmetro se torna menor que um determinado valor, mostrando que não só no caso da ureia como no caso dos demais aditivos químicos, poderia estar gerando mudanças na densidade e viscosidade do fluido em relação à água devido a dissolução de parte do aditivo.

Note-se da Figura 4.7, que para os aditivos químicos Cloreto de Potássio e Ureia mais Calcítico se apresenta uma discordância na zona de transição do peneiramento fino ao ensaio de sedimentação (tamanho de partículas de 0,075 mm), passa de um diâmetro menor no peneiramento a um diâmetro maior na sedimentação. Isto pode estar-se gerando durante o lavado onde algumas partículas podem experimentar uma redução de seu diâmetro pela agitação gerada nas peneiras com a água, ocasionando que não fiquem partículas retidas nas peneiras mesmo que tinha se registrado durante a sedimentação.

4.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E COM LUPA

5.4.1. Análises granulométricas e com lupa para um tempo de exposição de 24h

Foram submetidas a análises granulométricas amostras em seu estado de umidade de campo tendo em vista que o processo de secagem, além de não corresponder à situação de campo ainda pode gerar alterações texturais no solo (Roseno e Camapum de Carvalho, 2007). Os valores do teor de umidade natural e da massa específica dos grãos dos solos obtidos para as quatro profundidades estudadas são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Índices físicos, umidade e massa específica, dos solos em estudo.

| | 1m | 5m | 9m | 11m |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| w (%) | 18,45 | 28,79 | 23,93 | 30,23 |
| Gs | 2,72 | 2,72 | 2,78 | 2,88 |

Como se poderá notar mais na frente, algumas curvas apresentam um pequeno salto na zona de transição do peneiramento para a sedimentação. Isto se deve provavelmente a ocorrência do

seguinte fenômeno: o aditivo químico adicionado ao solo faz com que o teor determinado por meio da sedimentação, seja superior ao obtido por peneiramento. Isso indica que o fertilizante enfraquece certos agregados, que quando submetidos ao peneiramento por lavagem, após o ensaio de sedimentação, são desfeitos, gerando o ressalto na curva granulométrica. Um segundo efeito deveria ainda ser avaliado, o da alteração da densidade dos agregados e da viscosidade e densidade do fluido, que com a solubilização do aditivo químico deixa provavelmente de ser igual ao da água, mas isso não foi analisado nessa dissertação.

Inicialmente foram realizados os ensaios de sedimentação da mistura solo - aditivos químicos com um tempo de exposição do solo ao aditivo igual a 24 horas. Nas seguintes figuras se mostra o efeito de cada teor dos aditivos químicos, na distribuição granulométrica do solo proveniente de cada uma das profundidades estudadas. Cabe destacar que para todas as profundidades estudadas os teores correspondentes a 2% e 8% foram realizados ensaios de sedimentação apenas para as misturas do solo com aditivos puros e para os teores de 4% e 10% se incluiu as combinações dos aditivos puros em iguais teores. Nas figuras 4.9 a 4.12 encontram-se os resultados de granulometria para a profundidade de 1 m e tempo de exposição de 24h.

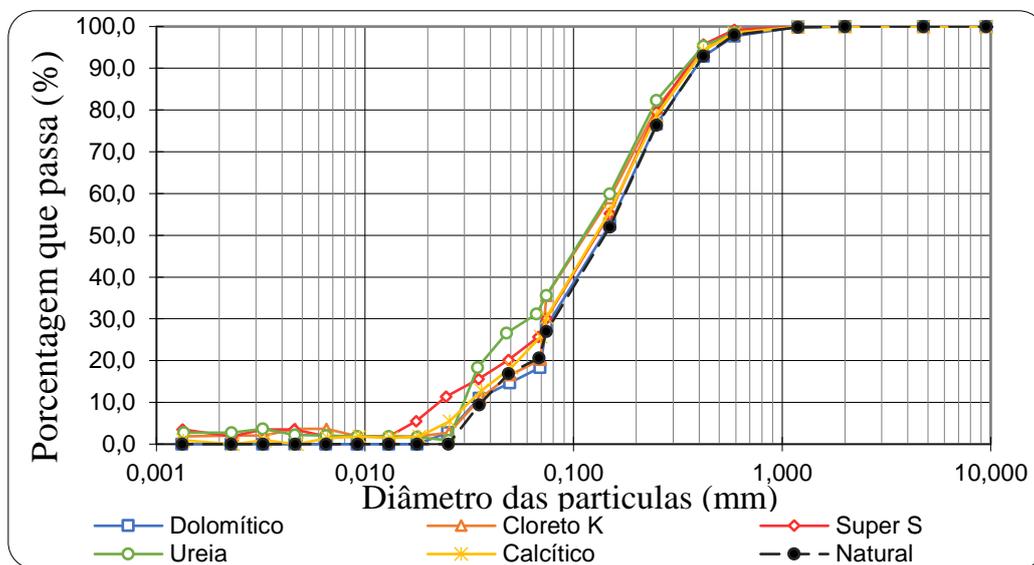


Figura 4.9. Solo de 1 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

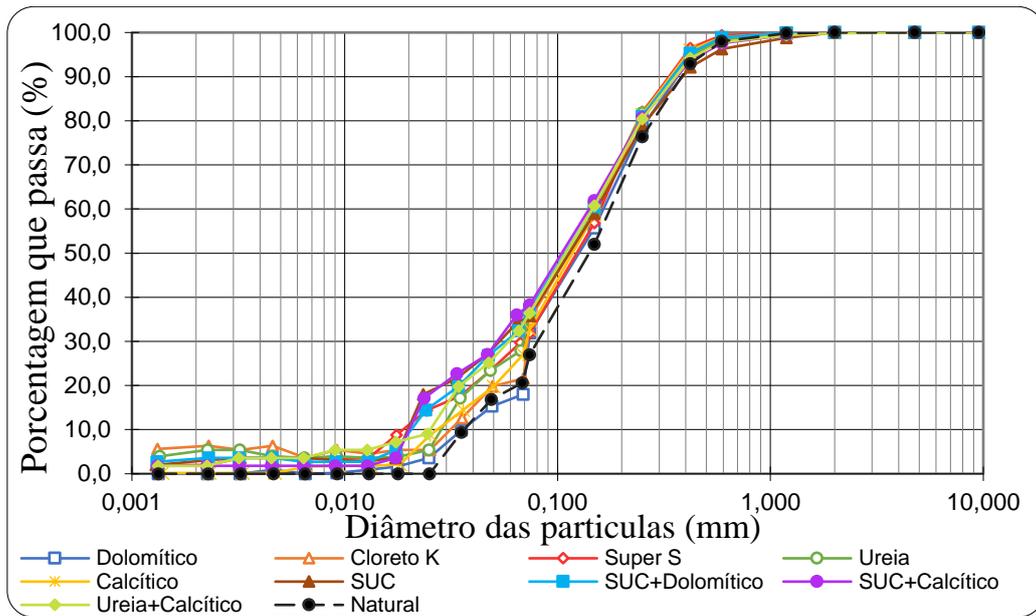


Figura 4.10. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

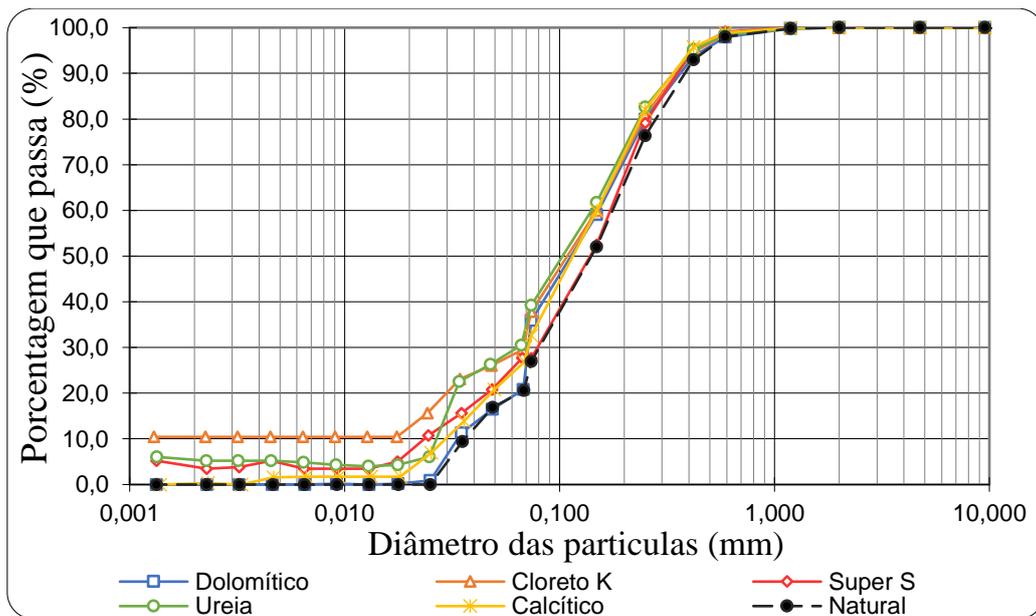


Figura 4.11. Solo de 1 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

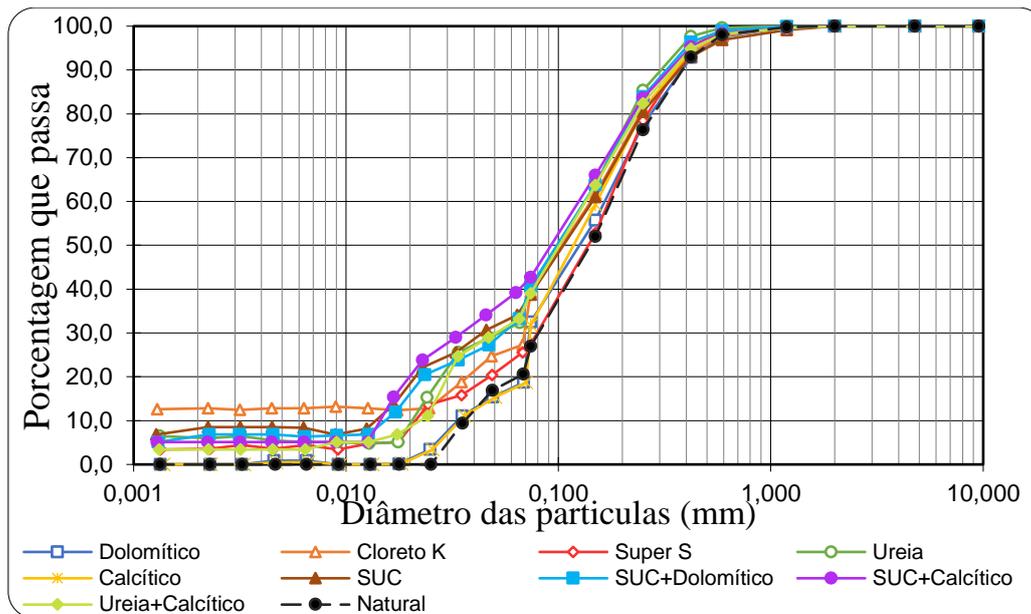


Figura 4.12. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

Nestas primeiras quatro figuras correspondentes à profundidade de 1 m e 24h de exposição do solo aos aditivos químicos, pode-se observar que em geral o solo apresenta quando da interação com os aditivos químicos uma desagregação das partículas, ampliando a fração argila e diminuindo o teor dos grãos de maior tamanho em graus diferentes em função do produto químico utilizado. Este fenômeno torna-se maior com o incremento do teor dos aditivos químicos. No caso dos insumos puros, a desagregação é notavelmente maior com o Cloreto de Potássio e no caso dos compostos o efeito foi semelhante para os compostos SUC, SUC mais Calcário Calcítico e SUC mais Calcário Dolomítico, que também possuem o Cloreto de Potássio em suas composições.

Isso pode estar ocorrendo devido ao fato de que a Caulinita está presente ao longo do perfil de intemperismo em estudo (Rodrigues, 2017) e segundo a série liotrópica desse argilomineral apresentada anteriormente, ela prefere o potássio para o intercâmbio iônico mais do que o magnésio ou o cálcio, o que poderia justificar porque o Cloreto de Potássio foi o que gerou maiores alterações na granulometria do solo. Destaca-se que o intercâmbio iônico, pode alterar a carga da solução tornando as ligações um pouco mais fracas entre as partículas que compõem os agregados, facilitando com isso a desagregação do solo misturado com Cloreto de Potássio em comparação com os outros aditivos químicos. Em menor grau de desagregação seguem o Supersimples e a Ureia, com efeito similar. Finalmente os Calcários Dolomítico e Calcítico foram caracterizados por não gerarem modificações muito significativas na textura do solo.

Cabe destacar que em campo, com o periódico calcariamento e adubação do solo para o plantio poderá ocorrer o acúmulo dos insumos em determinadas zonas do perfil, a depender em especial da drenabilidade, das características físico-químicas e mineralógicas do solo ao longo do perfil e da interação solo - aditivo químico, o que torna relevante o estudo da influência do teor de aditivo químico na estabilidade estrutural do solo.

Considerando-se o fato de que a interferência do aditivo na textura do solo variou com o tipo de aditivo usado, procedeu-se à análise microestrutural das misturas por meio do uso de lupa eletrônica. As observações foram realizadas após 24 horas do processamento da mistura com o solo em seu estado natural. A Figura 4.13 apresenta as imagens obtidas para solo natural e após mistura com os aditivos com período de repouso de 24 horas usando-se um aumento de 100 vezes. Observa-se que quase todas as misturas apresentaram uma certa formação de grumos no solo sendo essa formação mais intensa para o Cloreto de Potássio e a Ureia. Em contraste, observa-se que a estrutura do solo misturado com o Calcário Dolomítico não apresentou muitas agregações, o que coincide com os ensaios de sedimentação por ser um dos insumos que gerou menores alterações na granulometria. Além disso pode se observar a presença de pequenos pontos brancos na superfície, os quais correspondem às partículas do Calcário Dolomítico, que como se apresentou anteriormente nos resultados de solubilidade dos aditivos, este insumo é um dos que apresenta menor dissolução. É provável que essa formação de grumos que ocorreu na maioria das misturas do solo com os aditivos se deva sobretudo a interações devidas a diferenças de sucção entre os insumos e o solo. Não é, no entanto, possível descartar o papel de reações químicas na formação dos grumos. Os resultados dos ensaios de sedimentação mostraram que esses grumos formados não se mostraram estáveis em presença de água, mas eles deixam claro que ocorreu interação entre o solo e os aditivos químicos.



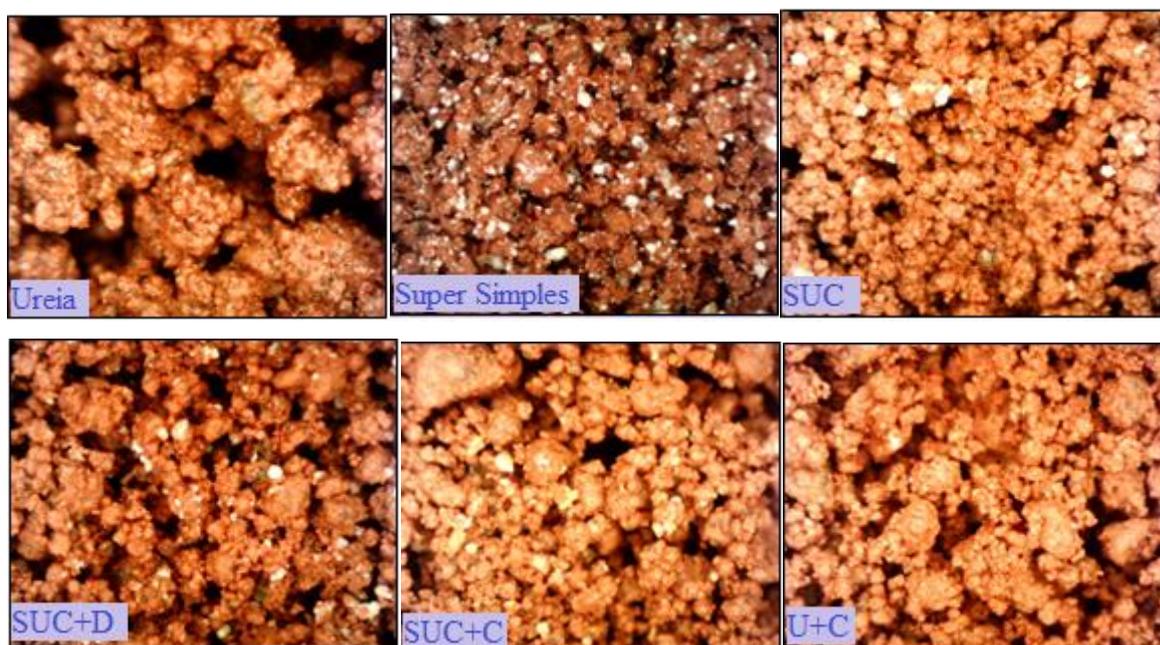


Figura 4.13. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h.

Embora as análises após maior tempo de mistura serão feitas mais adiante, a Figura 4.14 mostra certa tendência ao desfazimento dos grumos individualizados ao se ampliar o tempo de repouso de 24 horas (Figura 4.13) para 7 dias o que corrobora com o entendimento de que os grumos foram formados em especial pela atuação da sucção entre o aditivo químico e as partículas do solo.



Figura 4.14. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias.

Para a profundidade de 5 m pode-se observar nas Figuras 4.15 a 4.18 que os insumos geram desagregação das partículas que se encontram entre os tamanhos 0,075 mm e 0,015 mm sem que no entanto, amplie o teor de argila. Essa desagregação é ampliada com o aumento do teor de aditivo químico. Neste intervalo de dimensões das partículas, a Ureia é quem gera o maior grau de desagregação, seguido pelos compostos, lembrando que estes possuem a Ureia em suas composições. A desagregação gerada pela Ureia pode estar ocorrendo devido à nitrificação que

este insumo experimenta uma vez entra em contato com outras substâncias, onde dá-se uma liberação de H^+ . Como foi exposto anteriormente, os H^+ liberados deslocam os cátions presentes no solo o qual vai dificultar a união das partículas por menor presença destes íons gerando que o solo fique mais susceptível à desagregação.

Observa-se ainda que a fração fina do solo, fração inferior 0,015 mm tende a se agregar, esta agregação pode estar ligada a presença da sericita nesta profundidade, pois em estudos anteriores se verificou que a presença de ilita, mineral da mesma família, gerava a agregação do solo quando do uso de defloculante (Guimarães, 2002). Tem-se também que as misturas dos solos com o Cloreto de Potássio e com os compostos, foram as que apresentaram menor grau de agregação com o incremento do teor dos aditivos, provavelmente devido ao intercâmbio iônico com a Caulinita que também está presente no solo desta profundidade.

Destaca-se que com o aumento do teor de aditivo o Super Simples amplia o teor de agregados com diâmetro superior a 0,075 mm. Neste caso, esse comportamento poderia estar sendo gerado pelo fosforo contido no Super Simples uma vez que ele pode reagir com a sericita.

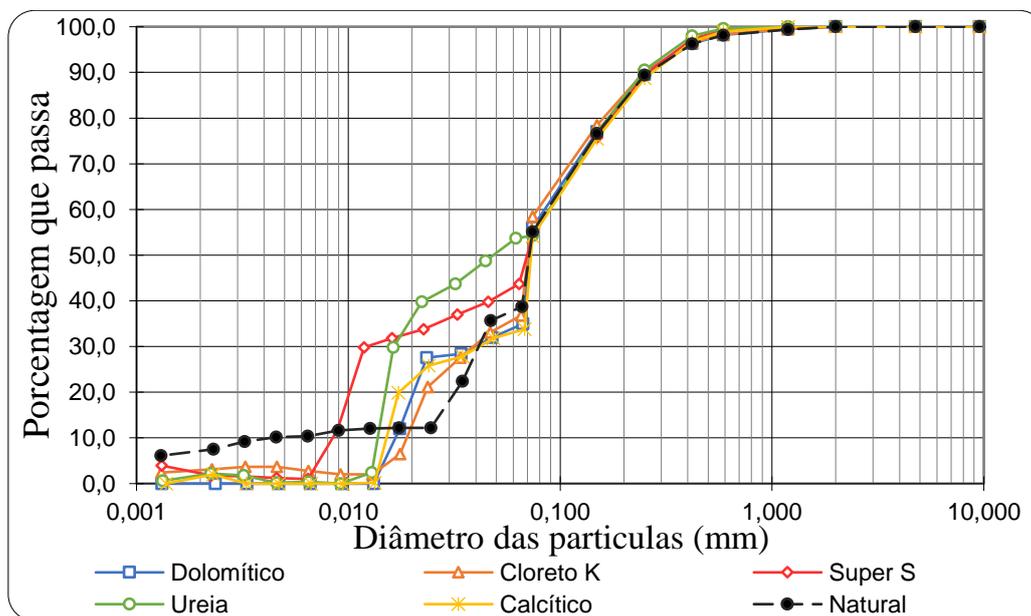


Figura 4.15. Solo de 5 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

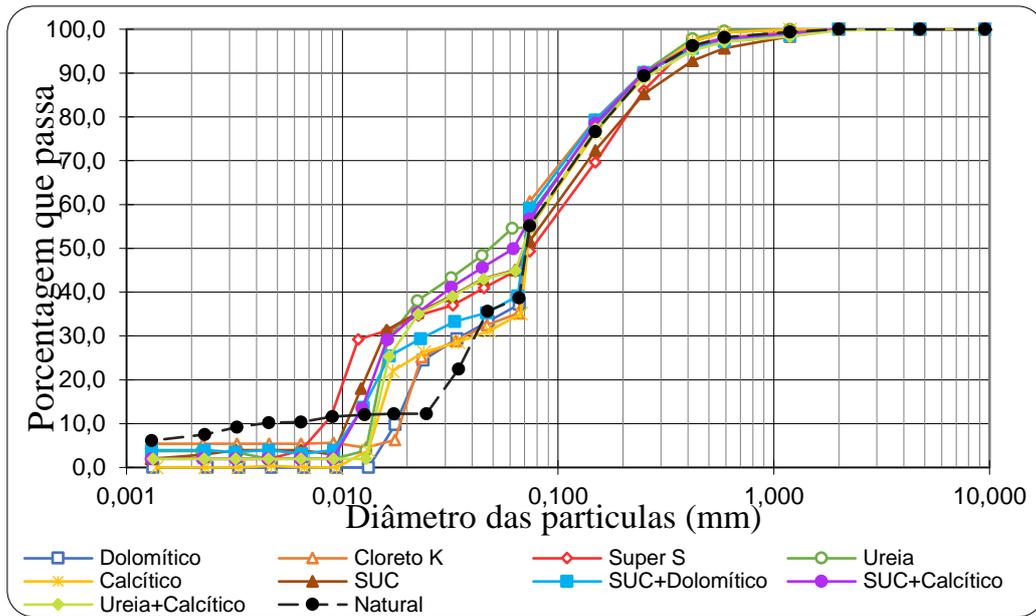


Figura 4.16. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

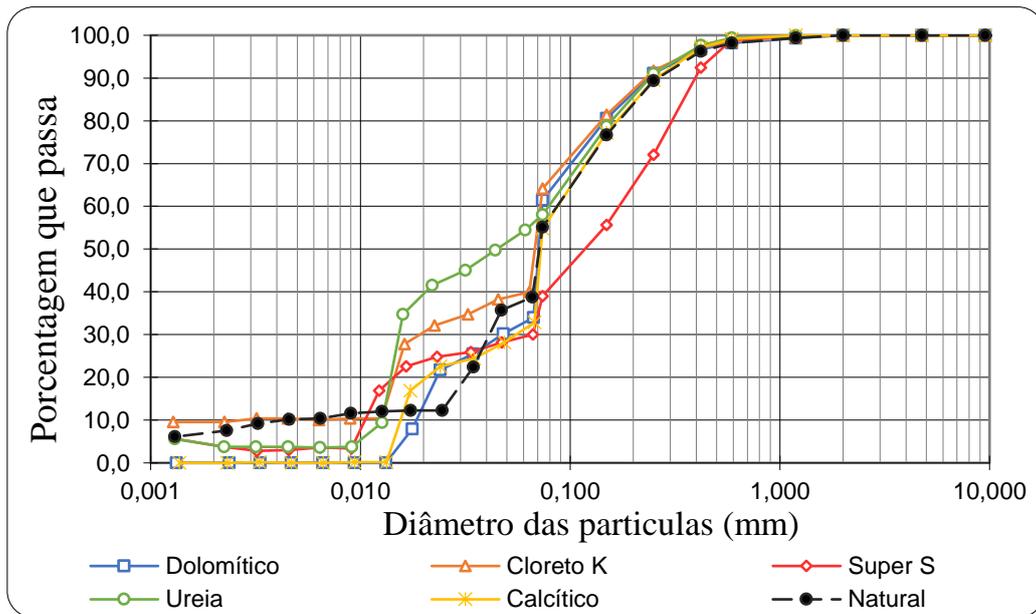


Figura 4.17. Solo de 5 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

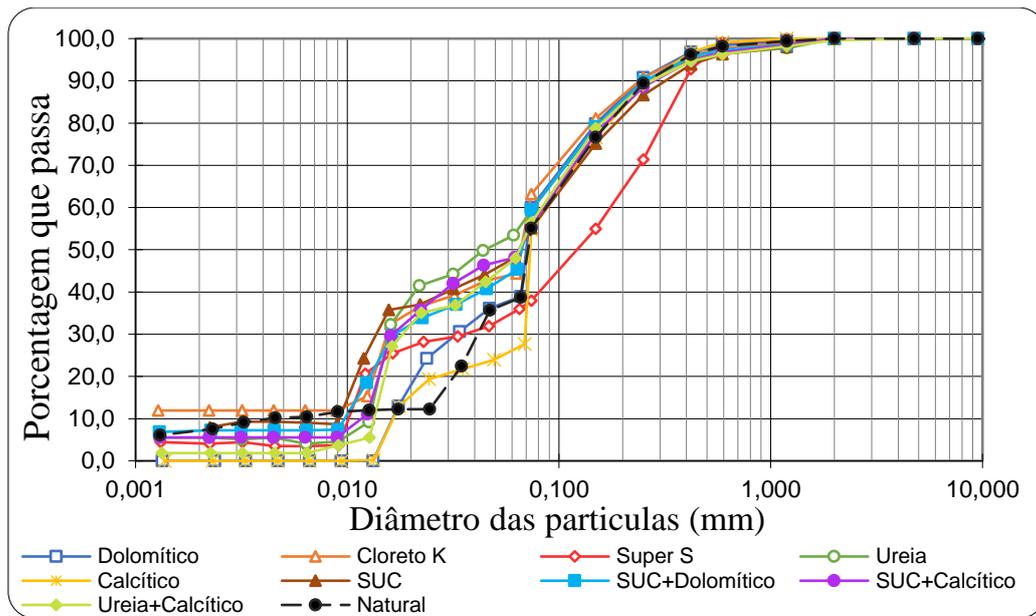


Figura 4.18. Solo de 5 m de profundidade com o 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

A Figura 4.19 mostra imagens após 8 horas de sedimentação. Nela se observa a presença de partículas em suspensão para o caso da Ureia e precipitação para o caso do Super Simples, o que mostra a maior desagregação gerada pela Ureia para alguns tamanhos de partículas. Só a Ureia apresentou este tipo de comportamento durante os ensaios, já que os outros aditivos químicos no tempo de 8 horas tinham-se sedimentado praticamente na totalidade das provetas.

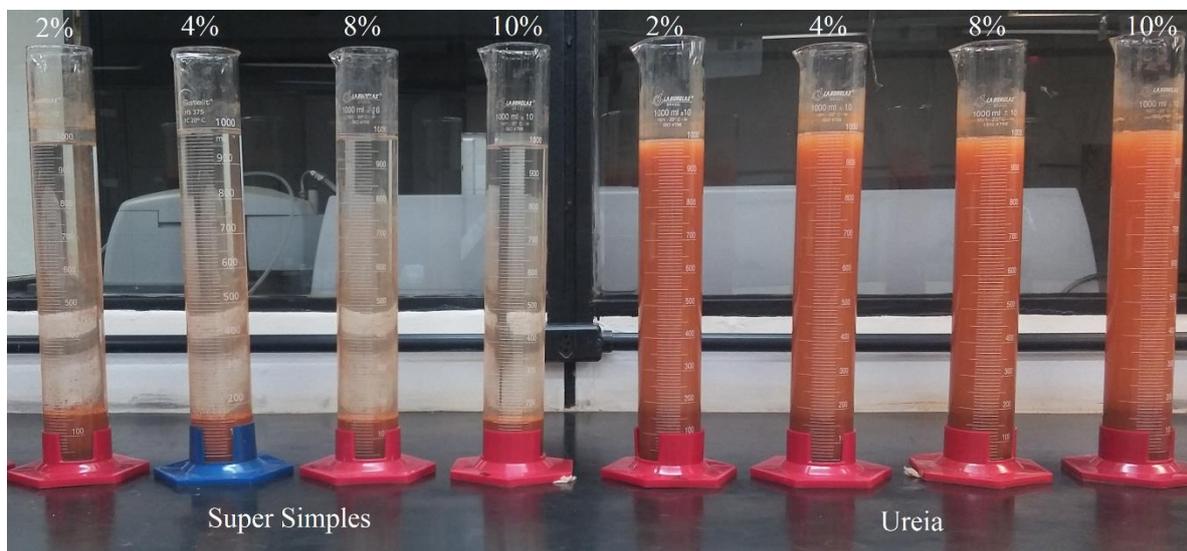


Figura 4.19. Ensaio às 8 horas de sedimentação do Super Simples (Primeiras 4 provetas) e da Ureia (Últimas 4 provetas) para a profundidade de 5 m e os 4 teores em estudo.

Novamente fazendo a avaliação das possíveis mudanças físicas apresentadas na textura do solo, foram feitas imagens com aumento de 100 vezes 24 horas após as misturas (Figura 4.20). Observa-se nessas imagens que exceto os dois calcários os aditivos químicos isolados e em

composição propiciaram a junção dos agregados presentes no solo tendendo a gerar uma massa única, sendo essa junção mais intensa nos aditivos puros e no SUC.



Figura 4.20. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h.

Os solos argilosos profundamente intemperizados, geralmente armazenam umidade na sua microporosidade contida nos agregados, e é possível que pela mudança na estrutura do solo quando é misturado com os aditivos químicos desfazendo os agregados ocorra a liberação da água, gerando com isto a característica úmida observada nas figuras em especial para os aditivos Ureia e Cloreto de Potássio.

O solo proveniente da profundidade de 9 m corresponde a um solo de transição entre o solo profundamente intemperizado e o solo saprolítico, sendo que suas partículas podem se encontrar isoladas, fracamente agregadas ou formando pacotes de argila razão pela qual ao se usar nesse texto para essa profundidade a expressão desagregação se estará referindo aos mecanismos de desagregação propriamente dito e à defloculação.

Para esta profundidade observa-se nas Figuras 4.21 a 4.24 para todos os aditivos e compostos químicos incorporados ao solo, um maior grau de desagregação das partículas tanto na parte correspondente ao peneiramento quanto nas partículas com diâmetros entre 0,075 mm e 0,010 mm em comparação com as profundidades 1 m e 5 m. Cabe lembrar que os resultados da análise química realizada para esta profundidade mostraram que para ela o solo apresenta a maior capacidade de troca catiônica para perfil estudado, característica que também contribui para o comportamento apresentado nos resultados da granulometria.

Novamente o Cloreto de Potássio e os compostos foram os insumos que geraram maior porcentagem de desagregação e o Super Simples gerou, como ocorreu anteriormente para as profundidades de 1 m e principalmente 5 m, agregação na zona do peneiramento. A Ureia gerou pouca desagregação no solo.

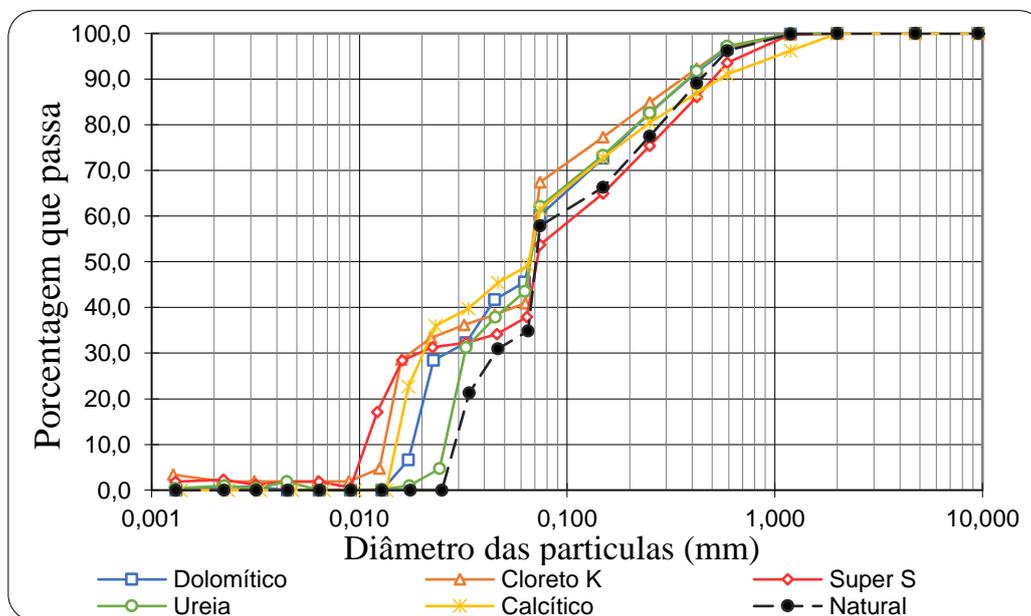


Figura 4.21. Solo de 9 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

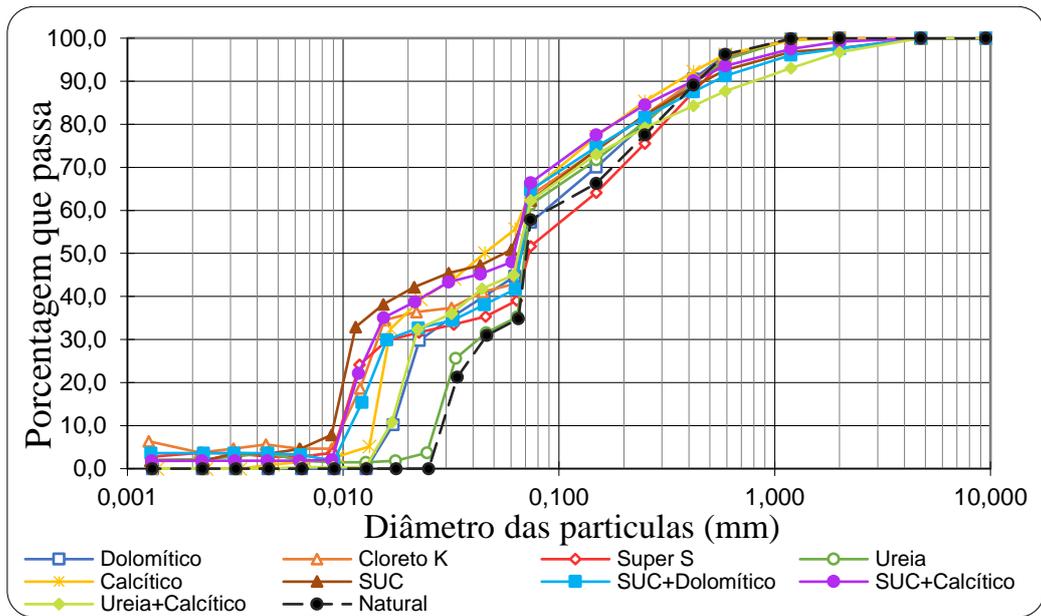


Figura 4.22. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

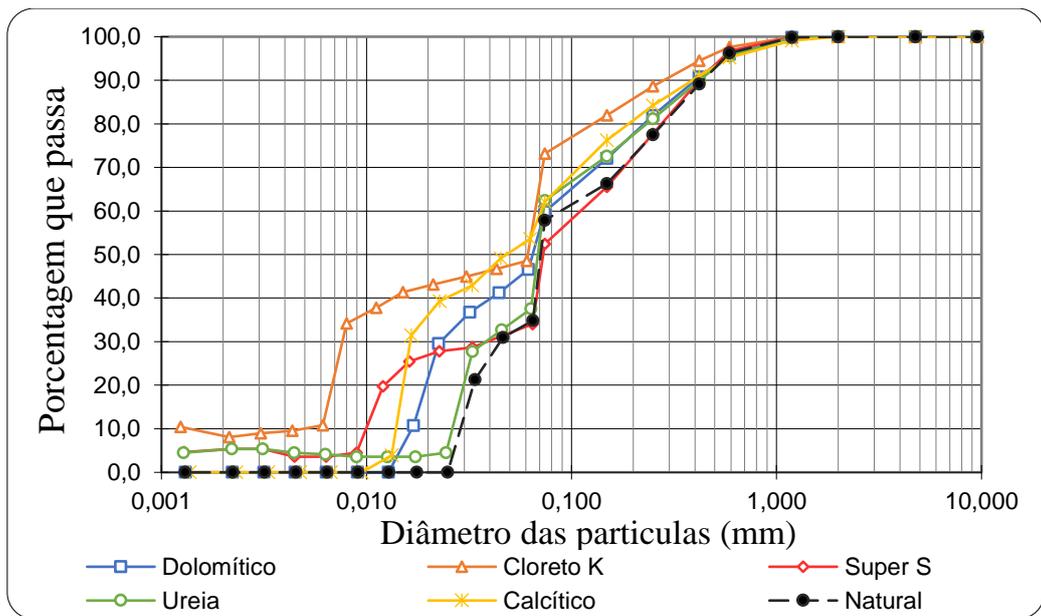


Figura 4.23. Solo de 9 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

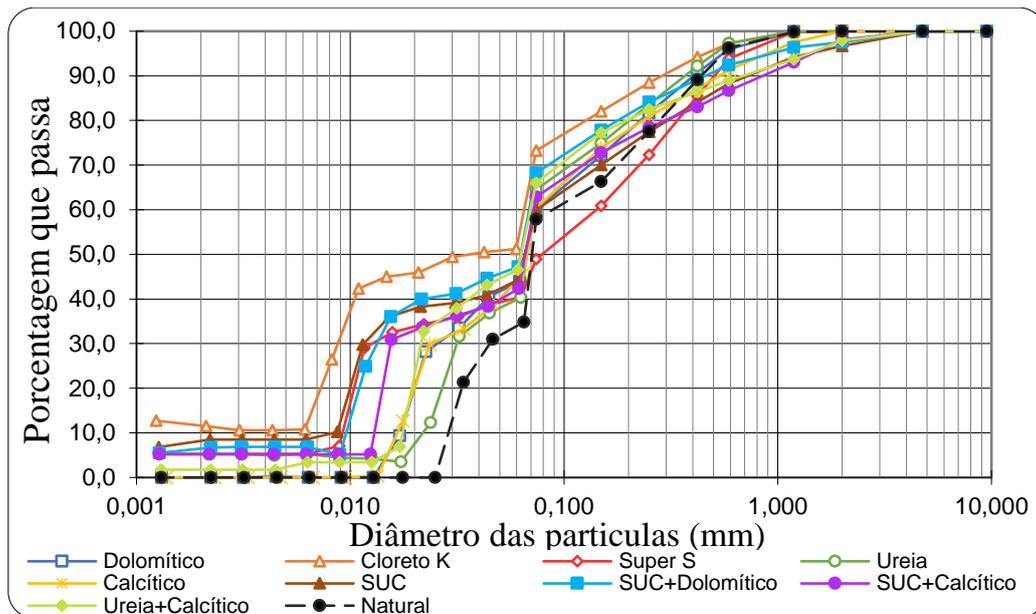


Figura 4.24. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

As imagens obtidas com a lupa para o solo desta profundidade se encontram na Figura 4.25. Nas imagens se observa que apenas o Cloreto de Potássio apresentou em termos de textura uma variação significativa em relação à amostra natural colocando mais uma vez em evidência uma aparente maior umidade na superfície. Observa-se ainda que os dois calcários e Super Simple apresentaram nas imagens uma coloração diferente com presença de elementos claros em destaque, os quais correspondem as partículas dos insumos. Isto devido a que com um maior brilho estas partículas refletiam a luz evitando que se observara corretamente a estrutura do solo, por isso se diminuiu a luminosidade gerando que o solo ficara mais escuro e as partículas dos insumos ressaltarem mais.



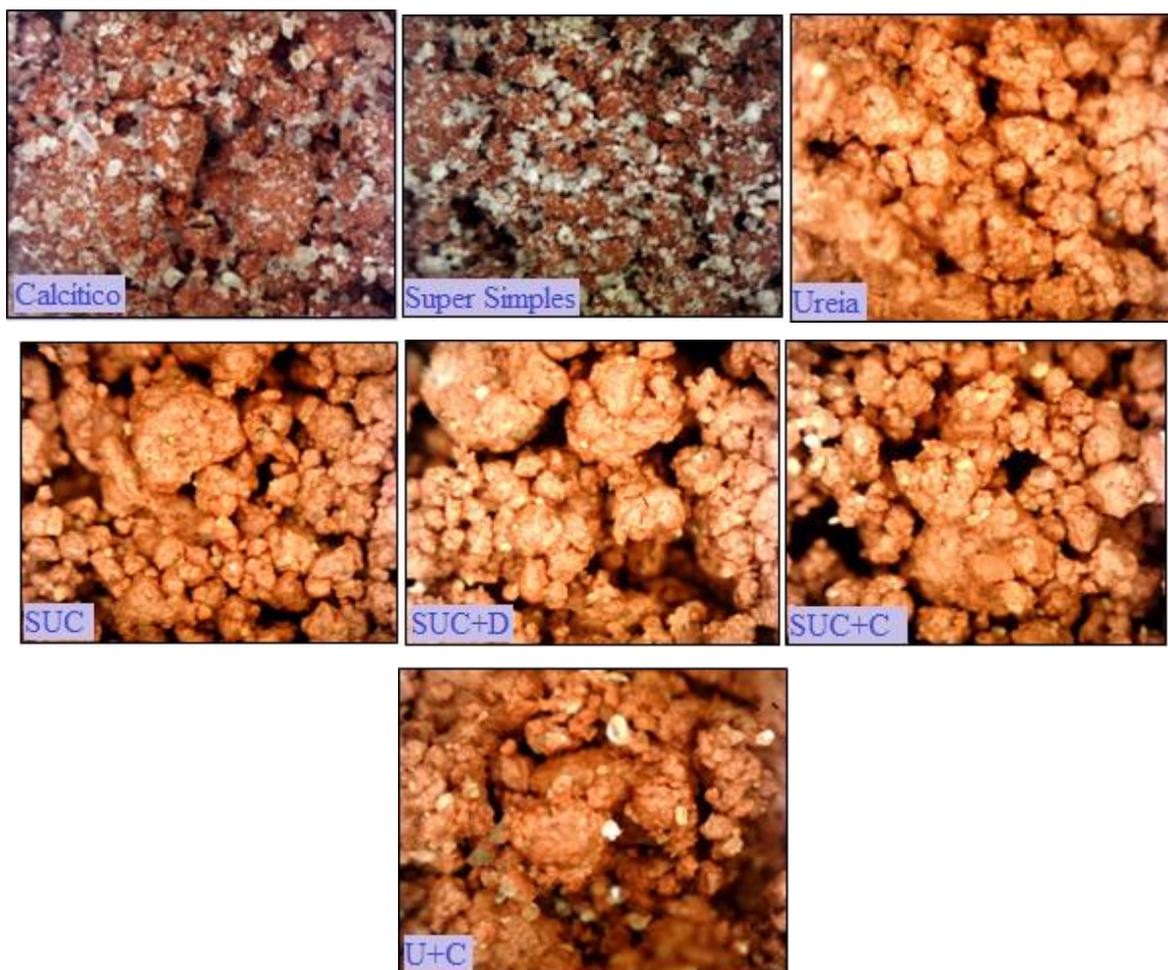


Figura 4.25. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h.

O solo proveniente da profundidade de 11 m, por ser um solo saprolítico praticamente não apresenta agregações sendo formado preponderantemente por partículas isoladas e pacotes de argila passando-se então a usar o termo defloculação em lugar de desagregação.

Os resultados de granulometria para essa profundidade de 11 m estão apresentados nas Figuras 4.26 a 4.29. Neste caso se observa que em geral, está-se apresentando maior defloculação com relação à desagregação registrada para os solos das demais profundidades estudadas. Isto pode dever-se a que no solo menos intemperizado, como se observa nos difratogramas de raio X, além da Caulinita tem-se a Ilita e esta última apresenta maior capacidade de troca catiônica (10 a 40 meq/100g) que a Caulinita (3 a 15 meq/100g) (Ver Tabela 2.1), isto é, a Ilita pode estar gerando um maior intercâmbio iônico com as substâncias químicas, criando ligações mais fracas em comparação com as ligações do solo proveniente de profundidade menores e por isso apresentando maior defloculação das partículas.

Em termos específicos, o aditivo químico Super Simples seguido do Cloreto de Potássio foram os que geraram maior defloculação do solo desta profundidade para os diâmetros que vão desde os 0,075 mm aos 0,01 mm, seguido dos compostos com presença desses dois aditivos químicos. Para diâmetros inferiores a 0,010 mm houve uma inversão passando a fração mais fina a ser maior quando do uso do Cloreto de Potássio seguido do Super Simples.

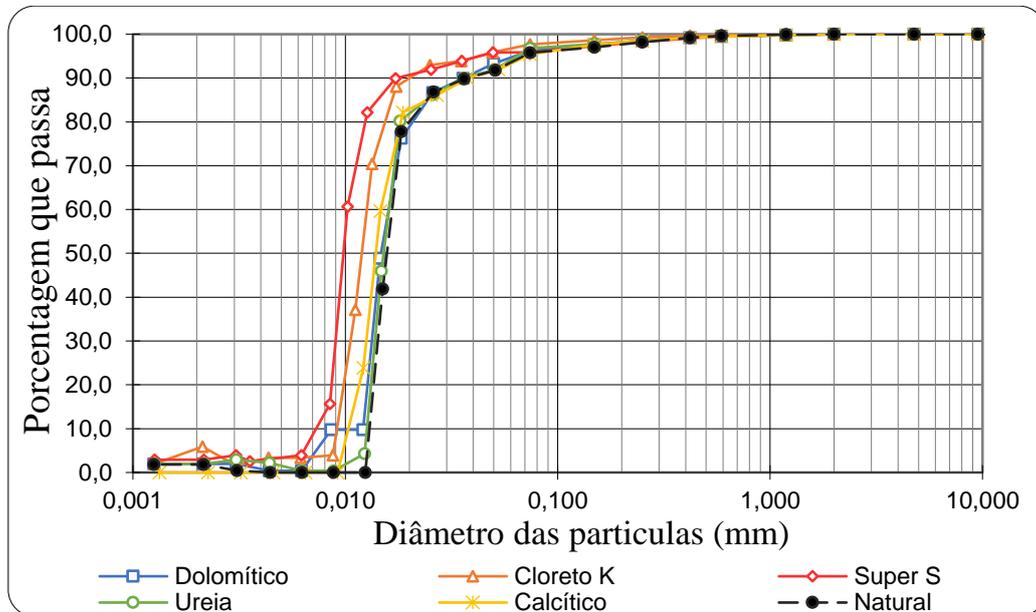


Figura 4.26. Solo de 11 m de profundidade com 2% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

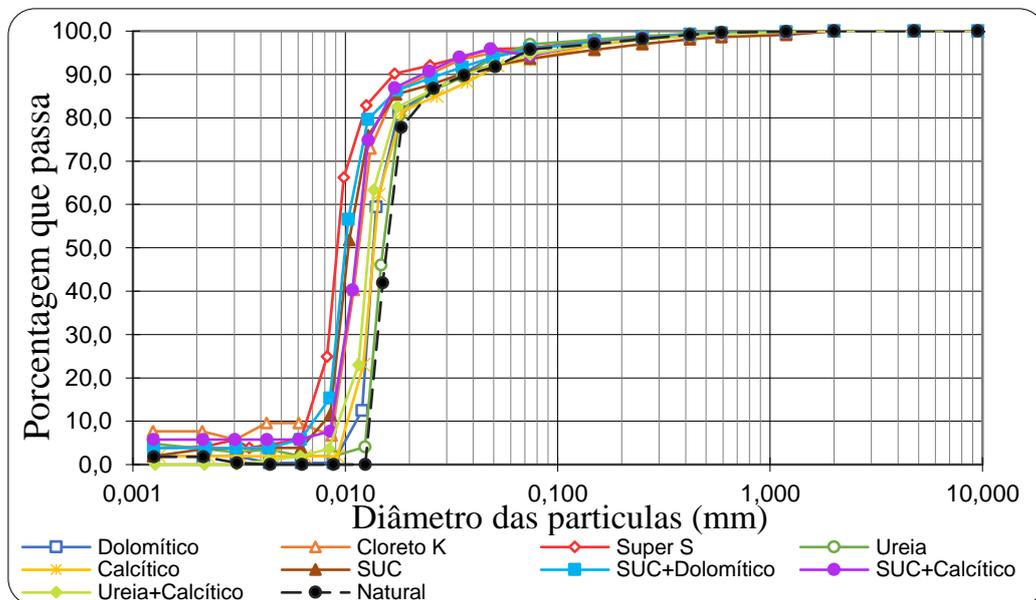


Figura 4.27. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

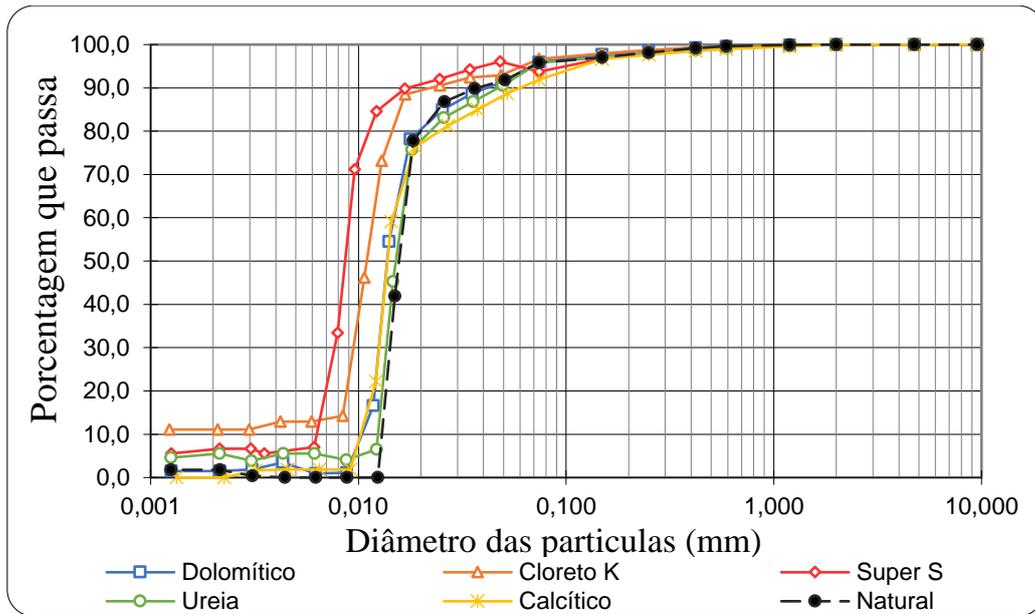


Figura 4.28. Solo de 11 m de profundidade com 8% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

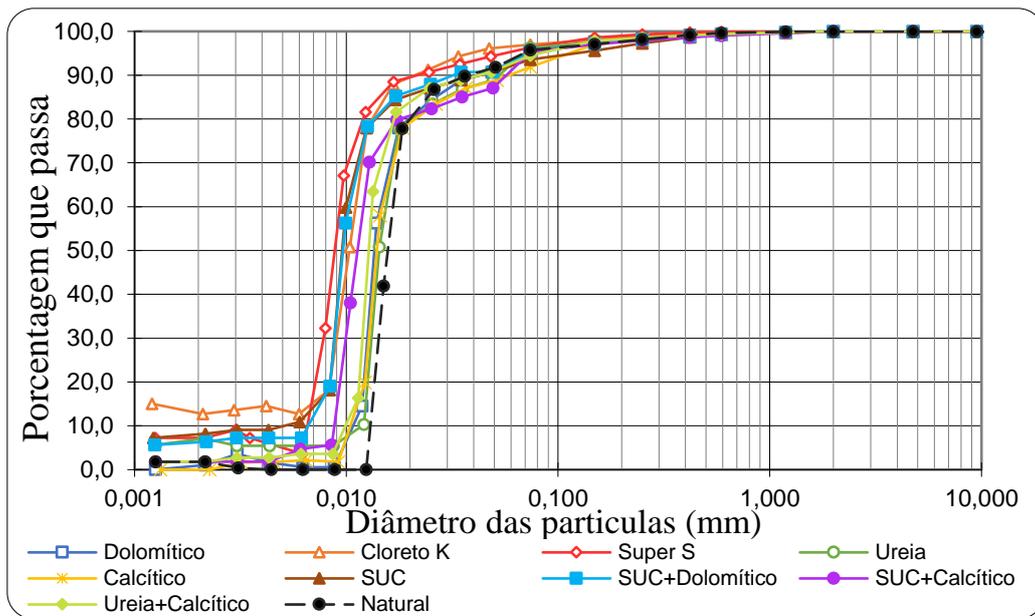


Figura 4.29. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 24h.

Avaliando as imagens obtidas com a lupa para ampliações de 100 vezes após 24 horas da mistura do solo com os aditivos, se observa a presença de grãos grandes no solo para esta profundidade. Devido a essa característica do solo deformado apresentar grãos de grandes dimensões torna-se difícil apontar interferências dos aditivos no solo exceto para o caso da Ureia onde aparece a liberação de umidade, o que não interviu na textura, pois este foi o aditivo químico que menos afetou a curva granulométrica do solo. Essa liberação da umidade também aparece, embora em menor quantidade, nos compostos contendo Ureia. A umidade na

superfície do solo misturado aos compostos contendo Ureia se deve provavelmente à liberação de Hidrogênios pela Ureia, os quais reagem com os oxigênios livres gerando um maior quantidade de água, tal como mostrado na Tabela 4.3 onde estes aditivos apresentaram o maior conteúdo de umidade.



Figura 4.30. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24h.

O calcário calcítico foi um dos aditivos químicos que menor influência gerou na granulometria do solo desta profundidade, e a imagem corrobora com esse comportamento, pois não se observa mudanças que merecem destaque.

5.4.2. Análises granulométricas para um tempo de exposição de 7 dias

Posteriormente, para conhecer se apresentavam-se mudanças nos resultados de granulometria com o tempo de exposição do solo ao insumo, foram realizados novamente os ensaios de sedimentação mas com um tempo de exposição igual a 7 dias e apenas com os teores de 4% e 10%.

As Figuras 4.31 e 4.32 apresentam as distribuições granulométricas obtidas para os diferentes aditivos incorporados respectivamente nos teores de 4% e 10% ao solo de 1 m de profundidade. É evidente destas figuras que para esta profundidade e com este tempo de exposição se apresentaram mudanças, primeiro porque todos os aditivos químicos em geral, incrementaram a desagregação do solo e segundo porque neste caso foi a Ureia, que praticamente não inferia na textura do solo após 24h de mistura, quem gerou a maior porcentagem de desagregação, a qual pode indicar que a nitrificação que apresenta este aditivo químico no solo, continua liberando H^+ com o tempo e que ao interagir com o oxigênio gera água, e reduz a capacidade de atração de cátions entre partículas de solo propiciando a sua desagregação.

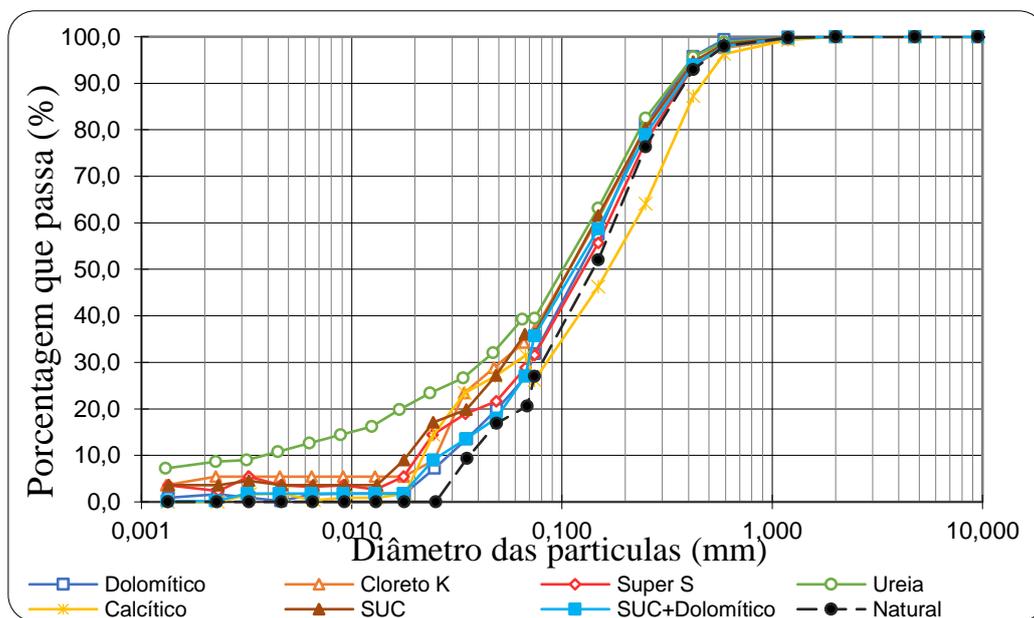


Figura 4.31. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

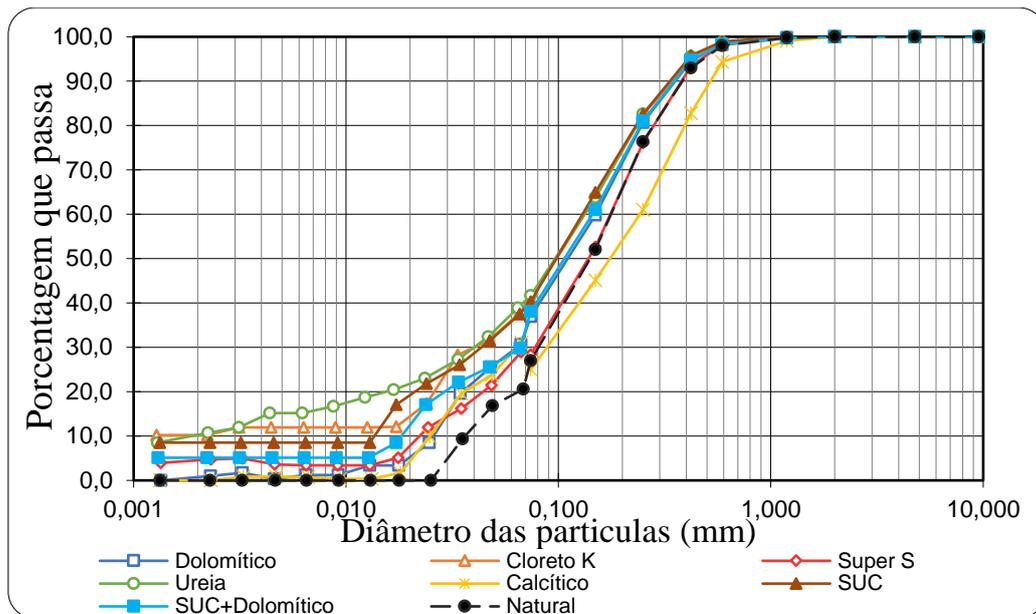


Figura 4.32. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

As imagens obtidas para as amostras após 7 dias da mistura com os aditivos (Figura 4.33) não fazem sobressair grandes diferenças em relação às imagens obtidas para 24h após as misturas com os aditivos (Figura 4.13) ou seja, as diferenças em relação a amostra natural não mudaram de modo marcante. Merece destaque, no entanto, o fato de que as reações geradas entre os aditivos químicos e os minerais do solo, continuam com o tempo gerando mudanças texturais e estruturais, ocasionando a desagregação dos grupamentos de partículas menores que aparentemente se aderem aos agregados de maior tamanho formando grupamento maiores. Na Figura 4.34 ao comparar a mistura do solo com Cloreto de Potássio após 24h e após 7 dias da mistura, coloca em evidencia esse aspecto, ou seja, o aditivo exerce certa ação sobre o solo ao longo do tempo. Esses grupamentos maiores por serem dotados de baixa estabilidade em presença de água se desfazem durante os ensaios de sedimentação ampliando a finura do solo.

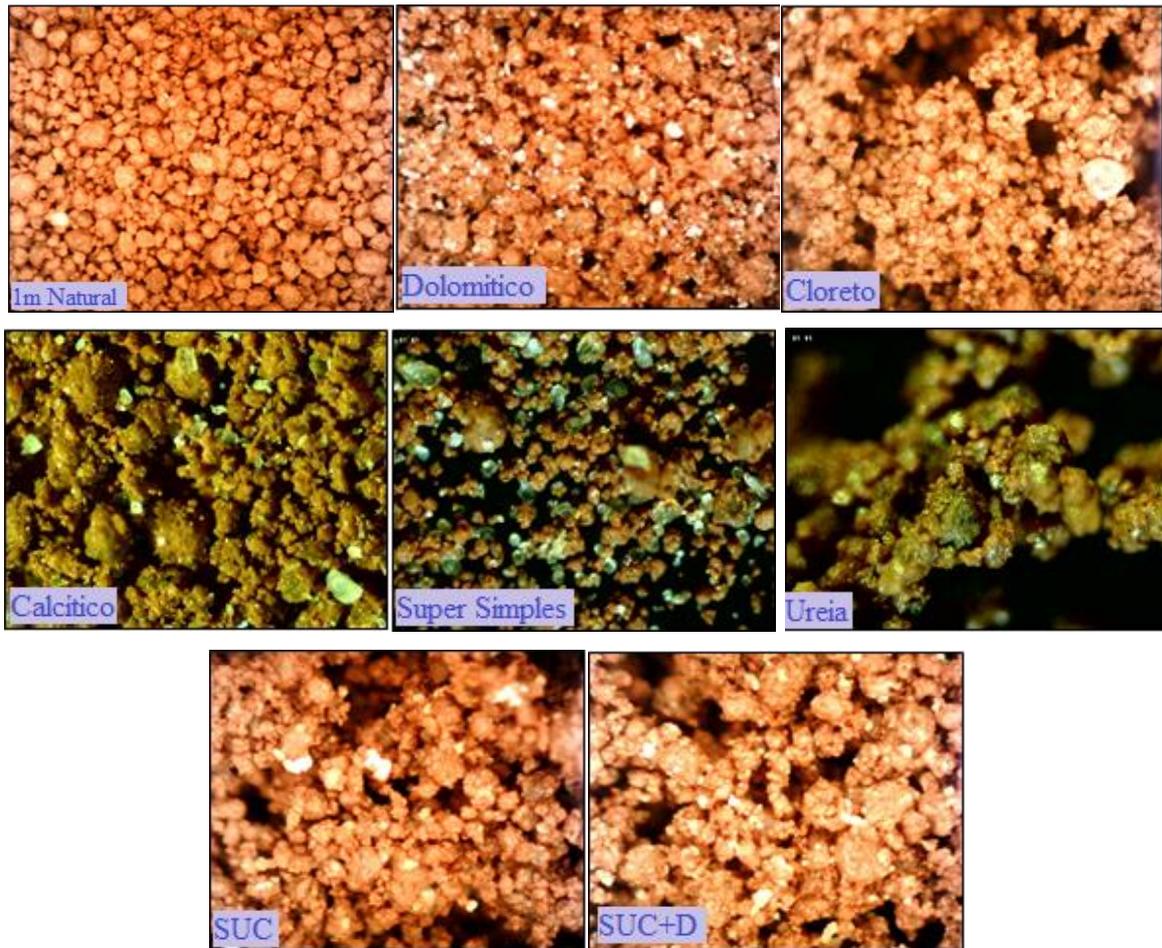


Figura 4.33. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias.

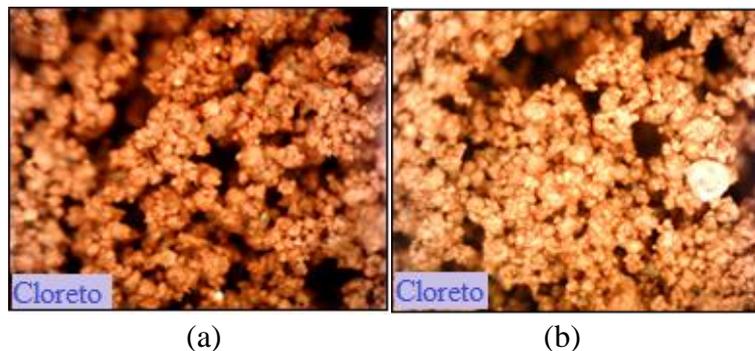


Figura 4.34. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade após (a) 24 horas e (b) 7 dias da mistura com Cloreto de Potássio.

Os resultados de granulometria para a profundidade de 5 m após 7 dias da mistura do solo com os aditivos são apresentados nas Figuras 4.35 e 4.36 respectivamente para a incorporação de 4% e 10% de aditivo. Para esta profundidade não se observa alterações significativas na granulometria com a ampliação do tempo após mistura de 24 horas para 7 dias.

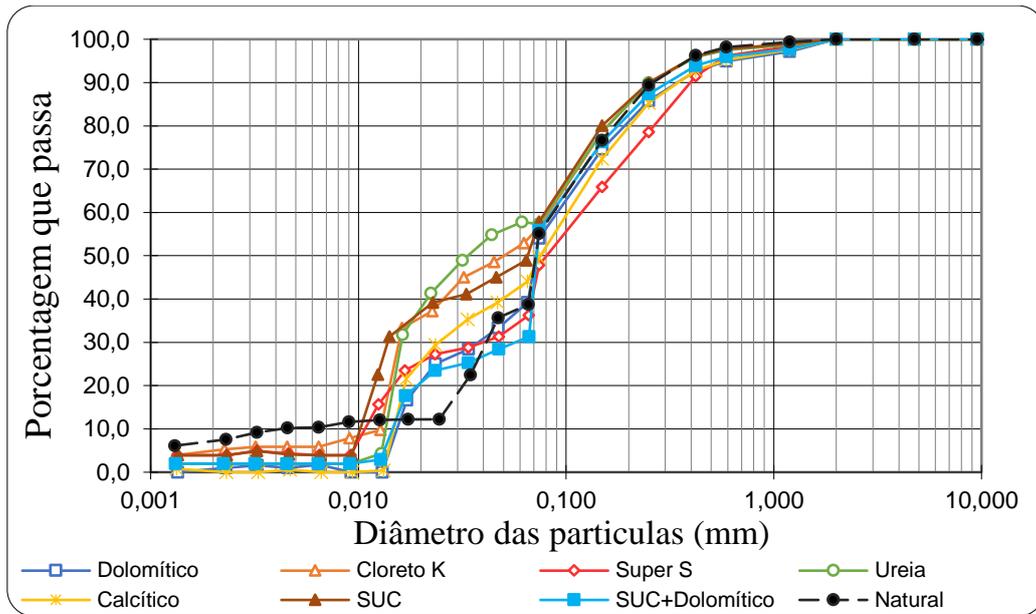


Figura 4.35. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

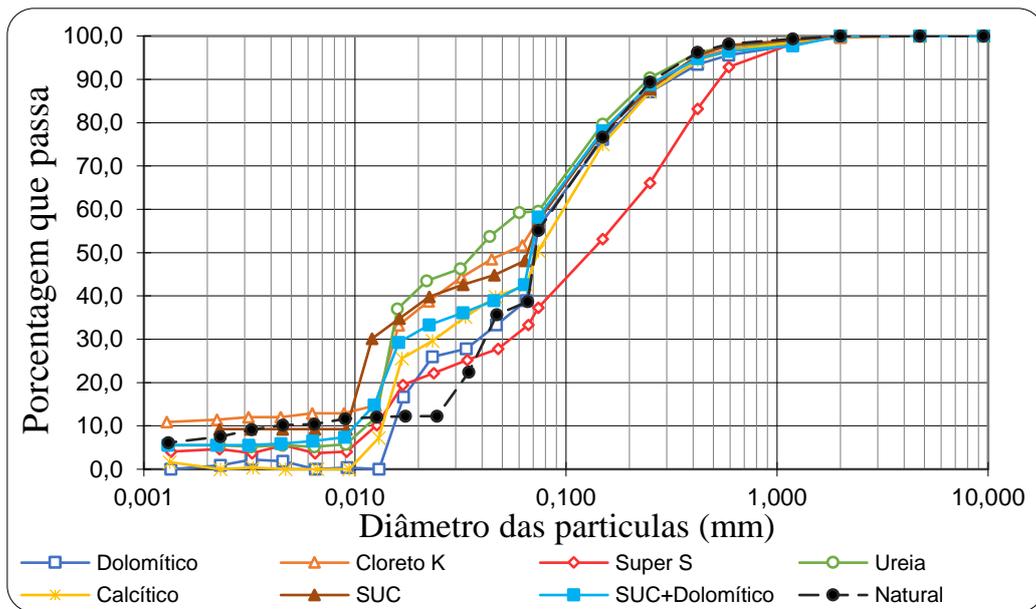


Figura 4.36. Solo de 5 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias

Nas imagens obtidas com a lupa para esta profundidade (Figura 4.37), após 7 dias da mistura do solo proveniente de 5 m de profundidade com os aditivos, a principal observação que se faz diz respeito à ampliação visual da umidade no solo para o caso da mistura com Ureia, sugerindo que a nitrificação no solo gerada por este insumo continua ocorrendo e gerando água a partir do hidrogênio liberado. Observa-se também uma marcante modificação em relação ao tempo de exposição 24 horas para o Calcário Dolomítico.

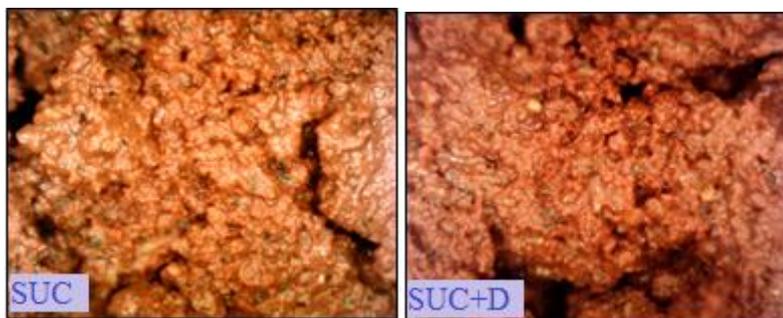
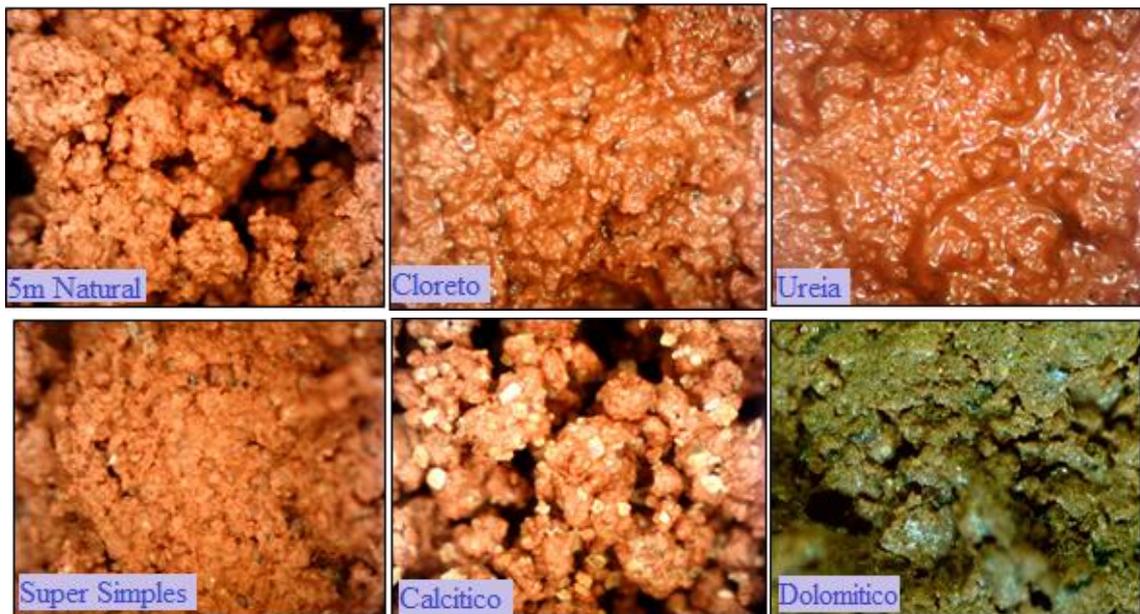
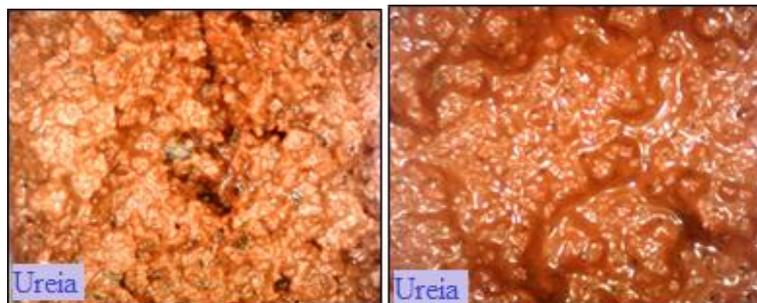


Figura 4.37. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias.



(a)

(b)

Figura 4.38. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade após (a) 24 horas e (b) 7 dias da mistura com Cloreto de Potássio.

Nas Figuras 4.39 e 4.40 são apresentados os resultados das análises granulométricas realizadas para o solo proveniente da profundidade de 9 m exposto por 7 dias aos diferentes insumos agrícolas.

Como já visto, nesta profundidade o solo apresenta um comportamento menos estável frente aos insumos com relação às outras profundidades devido ao seu menor nível de intemperização.

A ação desagregadora dos insumos com o tempo de mistura é marcante em alguns casos como se verifica para o aditivo Cloreto de Potássio. Nesse caso verifica-se para 10% de aditivo que o tempo de ação do Cloreto de Potássio amplia a desagregação do solo no processo de sedimentação. Maior desagregação na fase de sedimentação com o aumento do tempo de repouso da mistura aparece para outros insumos como é possível perceber para o caso de 4% de Ureia ao se comparar as curvas obtidas para 24 horas e 7 dias após a mistura.

Na zona do peneiramento cabe destaque o incremento da agregação registrada quando da adição dos aditivos químicos ao se passar do tempo de exposição de 24h para o tempo de exposição de 7 dias.

Já no trecho correspondente à sedimentação na zona compreendida entre 0,01 mm e 0,075 mm, se verificou uma maior desagregação com o aumento do tempo de exposição para todos os aditivos químicos a exceção do SUC e SUC + Calcário Dolomítico que mantiveram a mesma distribuição granulométrica nesse trecho. Finalmente na zona das partículas com diâmetros inferiores à 0,01 mm, as misturas do solo com os diferentes insumos, permaneceram praticamente constantes.

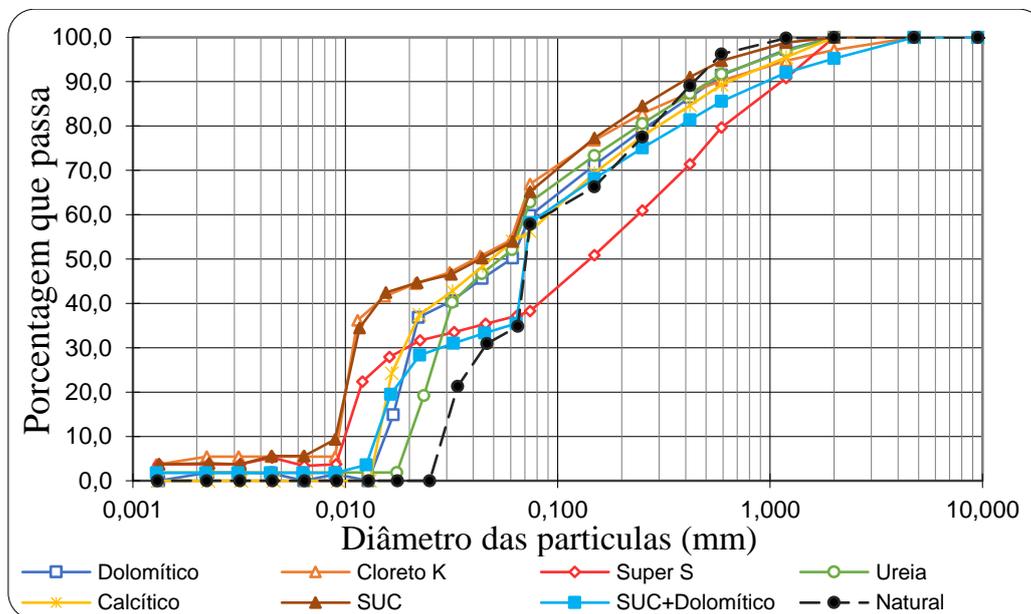


Figura 4.39. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

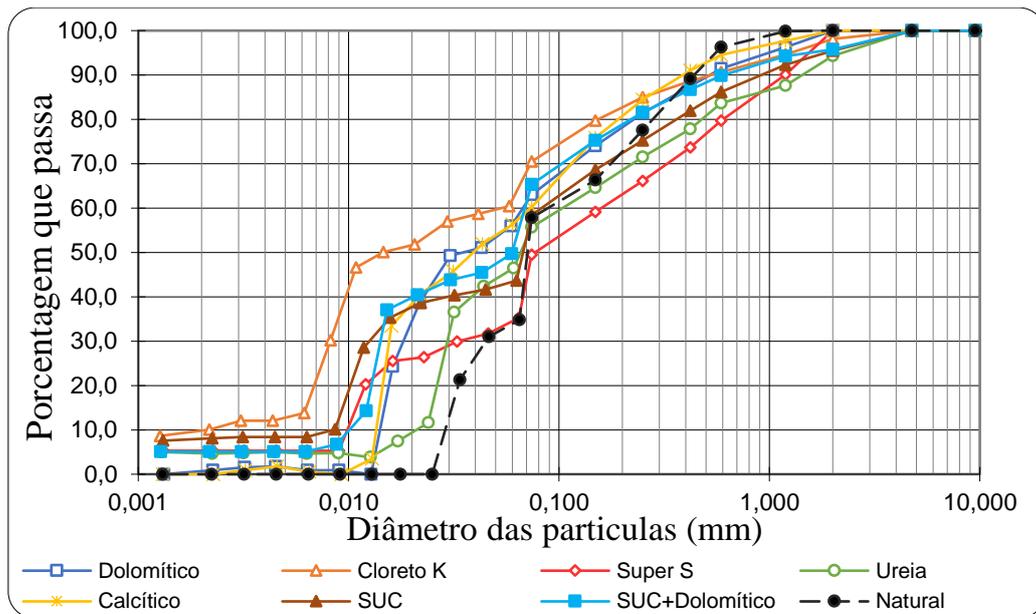


Figura 4.40. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

As imagens que se encontram na Figura 4.41, mostram as variações apresentadas na estrutura deste solo com 7 dias de exposição aos insumos agrícolas. Uma análise comparativa com as imagens apresentadas para o tempo de exposição 24 horas permite constatar alterações estruturais no solo com a ampliação do tempo de exposição. Por exemplo, observa-se para o Calcário Dolomítico uma nítida mudança na textura apontando para um material mais fino confirmando os resultados das análises granulométricas. Já no caso do Super Simples passam a aparecer agregados mais definidos o que aponta para a confirmação do aumento dos teores retidos nas peneiras quando da adoção de 7 dias de exposição ao aditivo. Também se observa para esse aditivo, que mesmo tendo passado 7 dias de exposição, ainda se apresentam partículas aderidas à superfície do solo mostrando que efetivamente este insumo agrícola, apesar de estar presente aparentemente em menor quantidade que para 24 horas de exposição, não foi ainda completamente absorvido pelo solo.



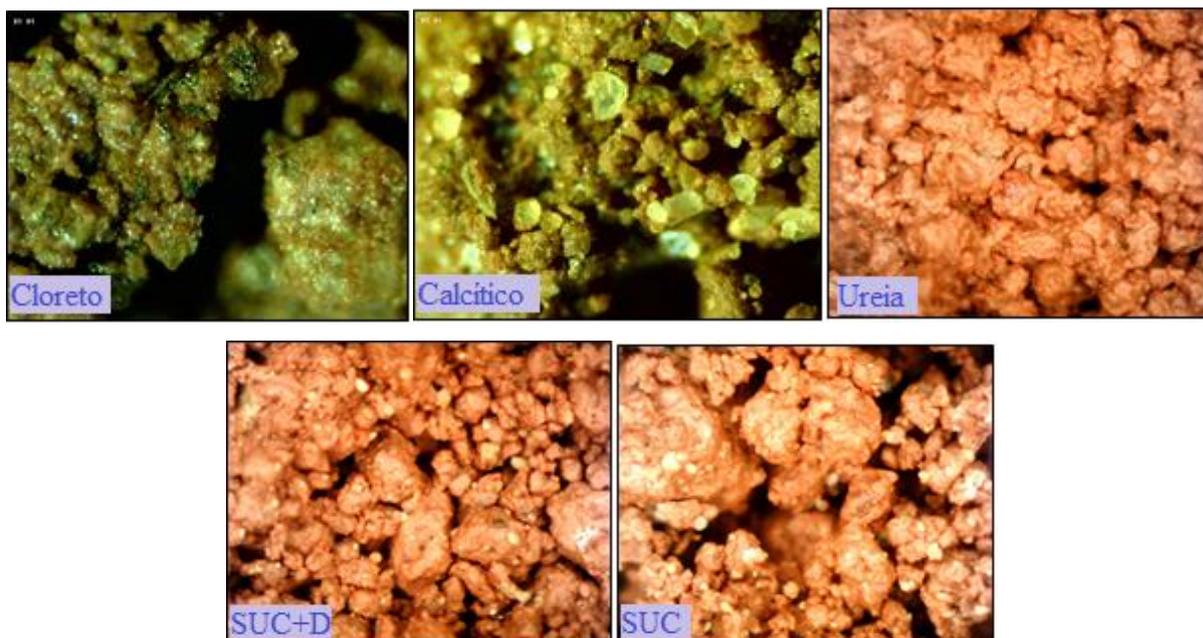


Figura 4.41. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias.

As Figuras 4.42 e 4.43 apresentam respectivamente os resultados de granulometria para a profundidade de 11 m após 7 dias de exposição para 4% e 10% de incorporação dos aditivos químicos.

Nesta profundidade se observa que o tempo de exposição não gerou mudanças significativas nos resultados, já que quase todos os resultados ficaram praticamente constantes.

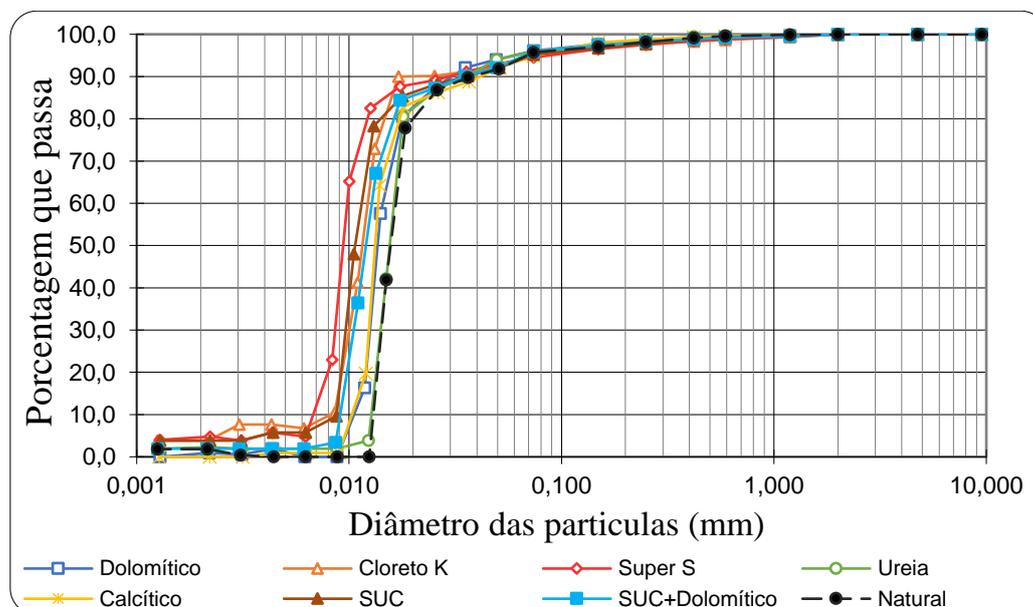


Figura 4.42. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

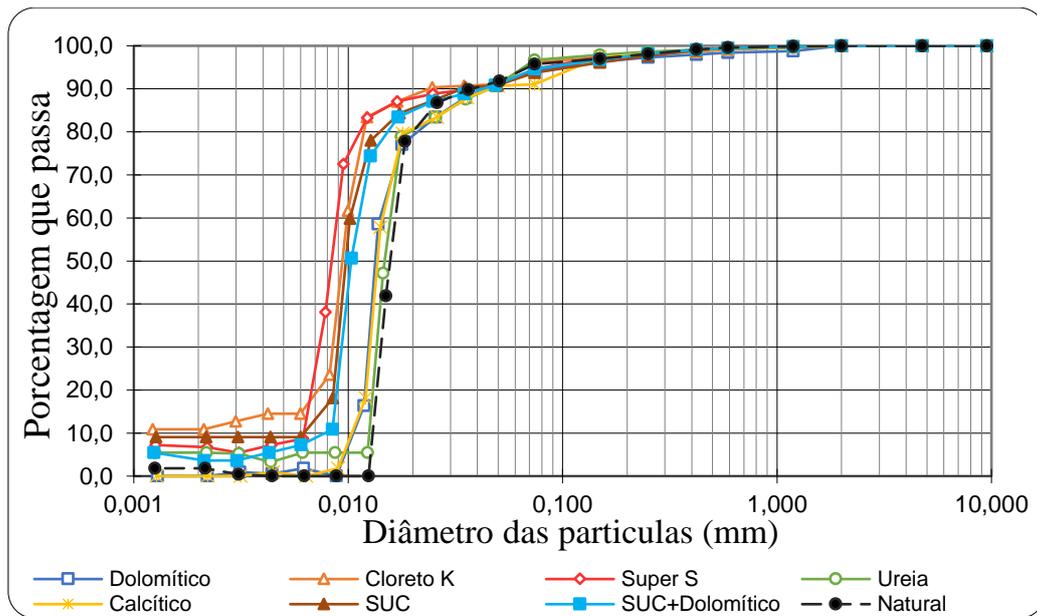
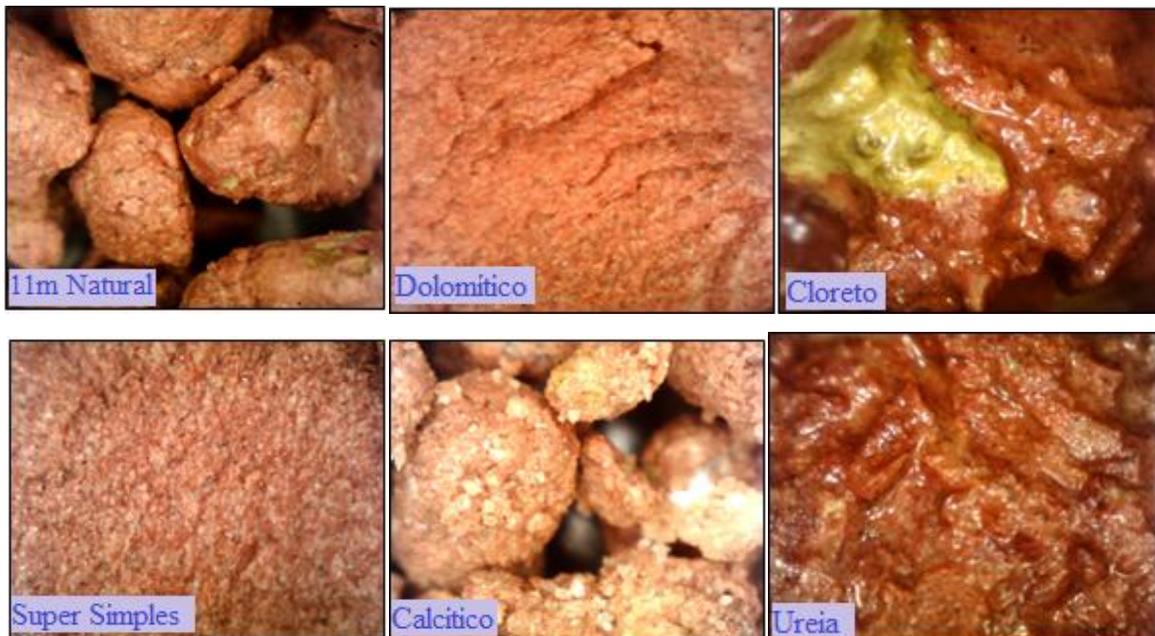


Figura 4.43. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 7 dias.

Do mesmo jeito não se apresentaram mudanças significativas na estrutura do solo após 7 dias de exposição (Figura 4.44) em comparação com as imagens obtidas para as 24h de exposição. Em termos visuais percebe-se mudança apenas em relação ao Cloreto de Potássio sem que, no entanto, se faça notar diferenças marcantes nas curvas granulométricas.



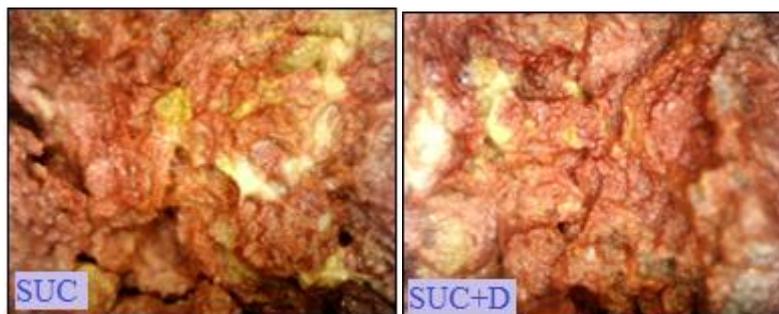


Figura 4.44. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 7 dias.

5.4.3. Análises granulométricas para um tempo de exposição de 15 dias

Os ensaios considerando-se 15 dias de exposição aos insumos foram feitos só para as misturas do solo com os compostos SUC mais Calcítico e Ureia mais Calcítico, considerando os resultados obtidos por (Gonzales, 2009) na sua tese de doutorado que indicavam que as bactérias nativas presentes no perfil de solo do Distrito Federal por ela estudado, precipitavam o carbonato de cálcio nesse período. Nas seguintes figuras é mostrado o efeito de cada teor dos aditivos químicos estudado (4% e 10%) tanto para o tempo de exposição de 15 dias quanto de 24h para facilitar a análise comparativa.

Para a profundidade de 1 m (Figura 4.45 e 4.46) se observa que no caso do composto Ureia adicionando Calcário Calcítico, a desagregação é incrementada tanto com o tempo de exposição, quanto com o teor de aditivo utilizado, enquanto que para o composto SUC mais Calcário Calcítico, apesar da desagregação observada em relação ao solo natural, tem-se para 15 dias de exposição em relação aos resultados obtidos para 24h de exposição, uma pequena agregação das partículas com diâmetros que variam entre os 0,01 mm e 0,075 mm, apontando para a precipitação de carbonato de cálcio conforme observado por Gonzales (2009) por meio do uso de nutriente contendo cálcio.

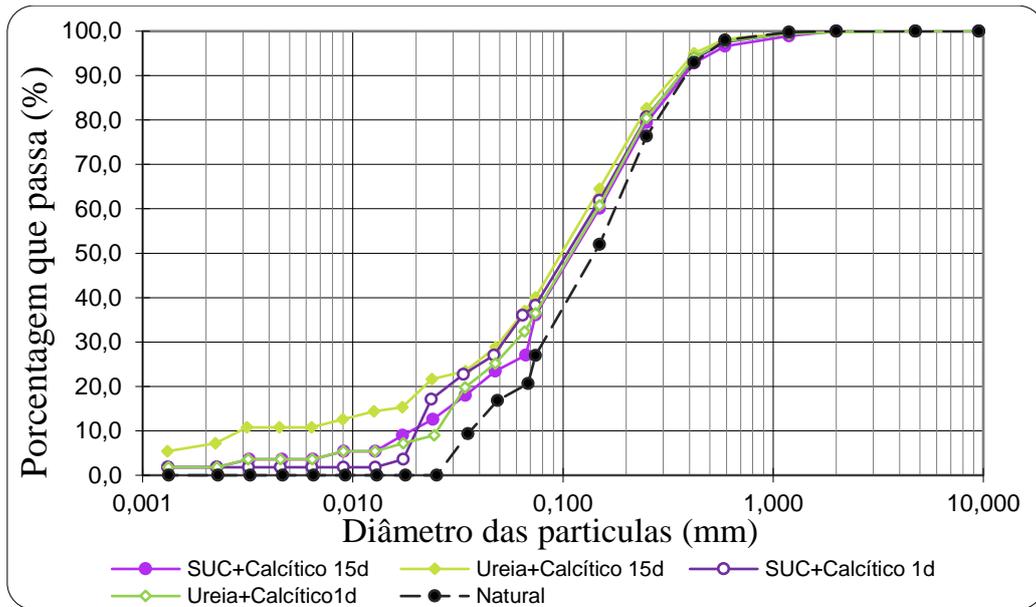


Figura 4.45. Solo de 1 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

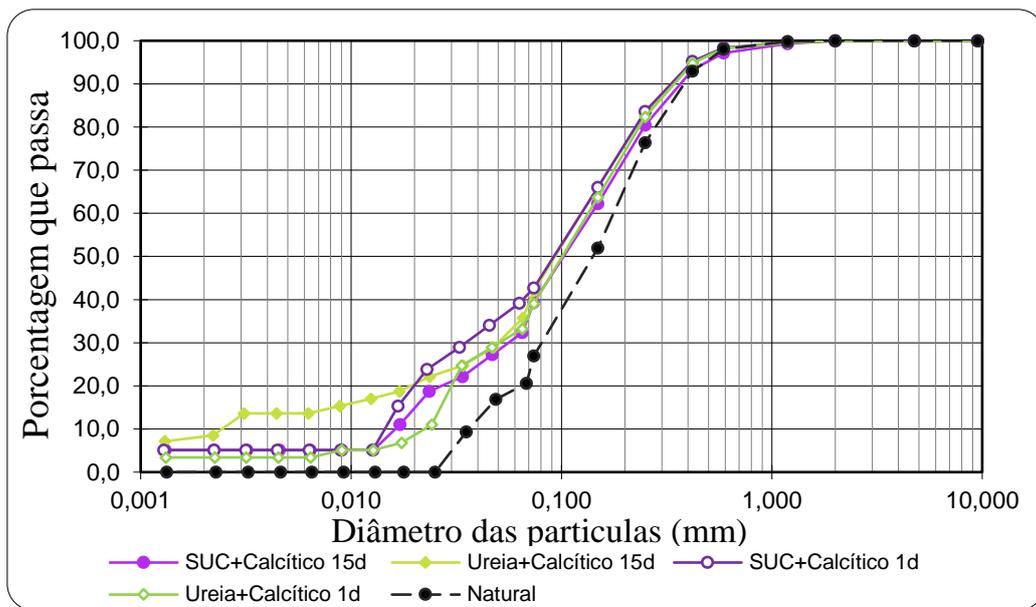


Figura 4.46. Solo de 1 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

A Figura 4.47 apresenta comparativamente para os tempos de exposição 24 horas e 15 dias, as imagens obtidas para estes dois compostos químicos estudados. Embora não seja possível identificar variações de textura com o tempo de exposição para a mistura do solo com o composto SUC mais Calcário Calcítico, verifica-se que a mistura Ureia mais Calcário Calcítico apresenta uma textura com menor tamanho de partículas com relação ao tempo de 24h, indicando que a desagregação teve continuidade com o tempo de exposição.

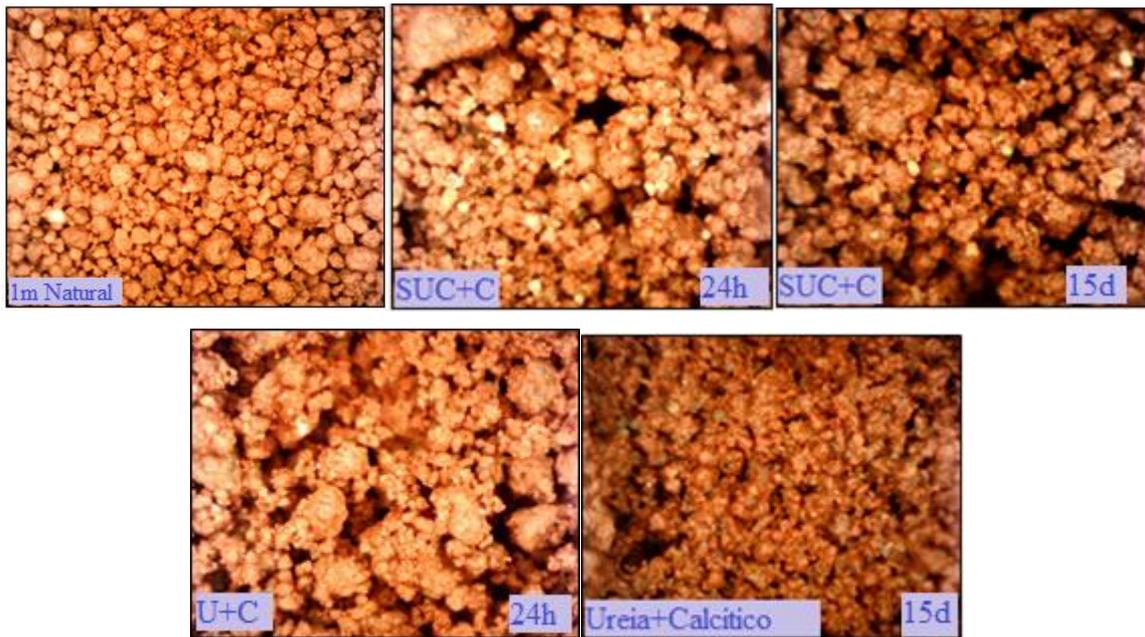


Figura 4.47. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 1 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias.

As Figuras 4.48 e 4.49 apresentam comparativamente os resultados obtidos para a profundidade de 5 m após 24 horas e 15 dias de exposição considerando-se respectivamente 4% e 10% de aditivo. No caso dos 5 m de profundidade, ocorre alguma mudança com o tempo de exposição apenas para o SUC mais Calcário Calcítico. Nesse caso após 15 dias se verifica em relação aos resultados obtidos após 24 horas de exposição que ocorre tanto para o teor 4% como para o teor 10% pequena desagregação na fração interior à 0,01 mm e pequena agregação na fração compreendida entre 0,01 mm e 0,074 mm.

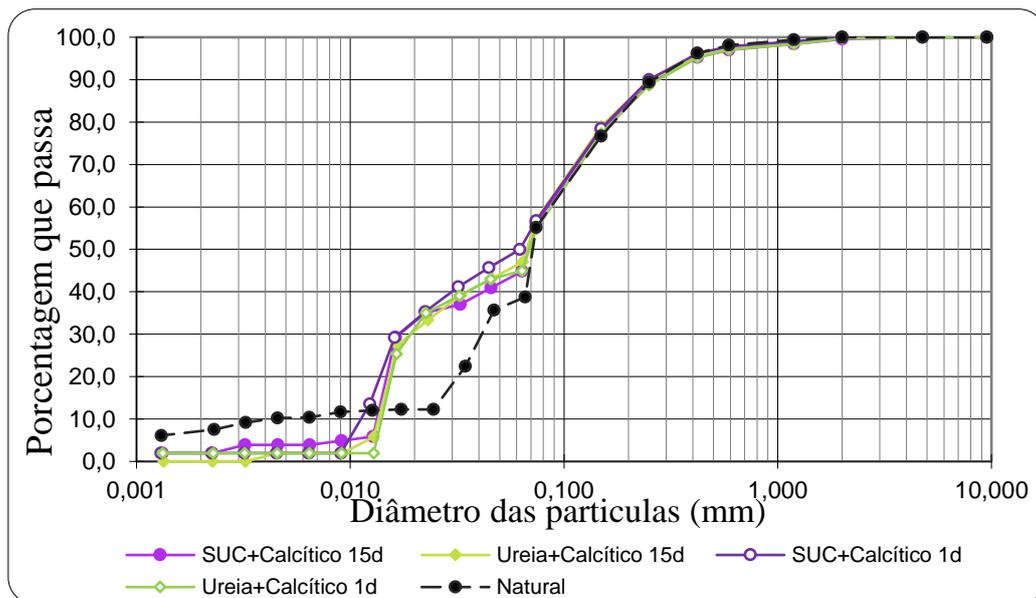


Figura 4.48. Solo de 5 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

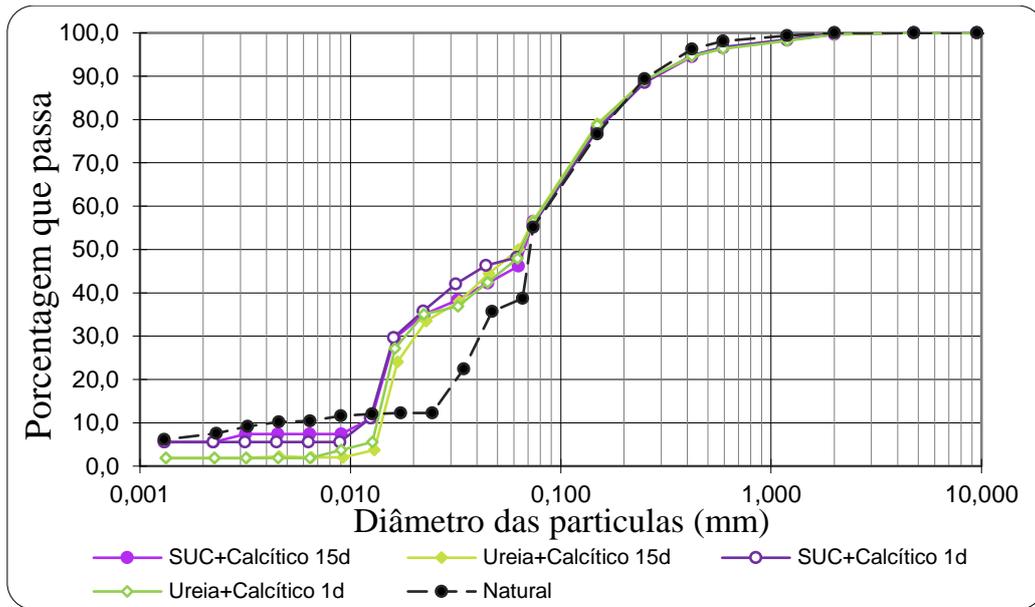


Figura 4.49. Solo de 5 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

Igualmente as texturas, não apresentaram mudanças consideráveis no tamanho dos grãos, percebendo-se apenas um pequeno aumento de umidade após 15 dias de exposição na superfície da amostra Ureia mais Calcário Calcítico (Figura 4.50).

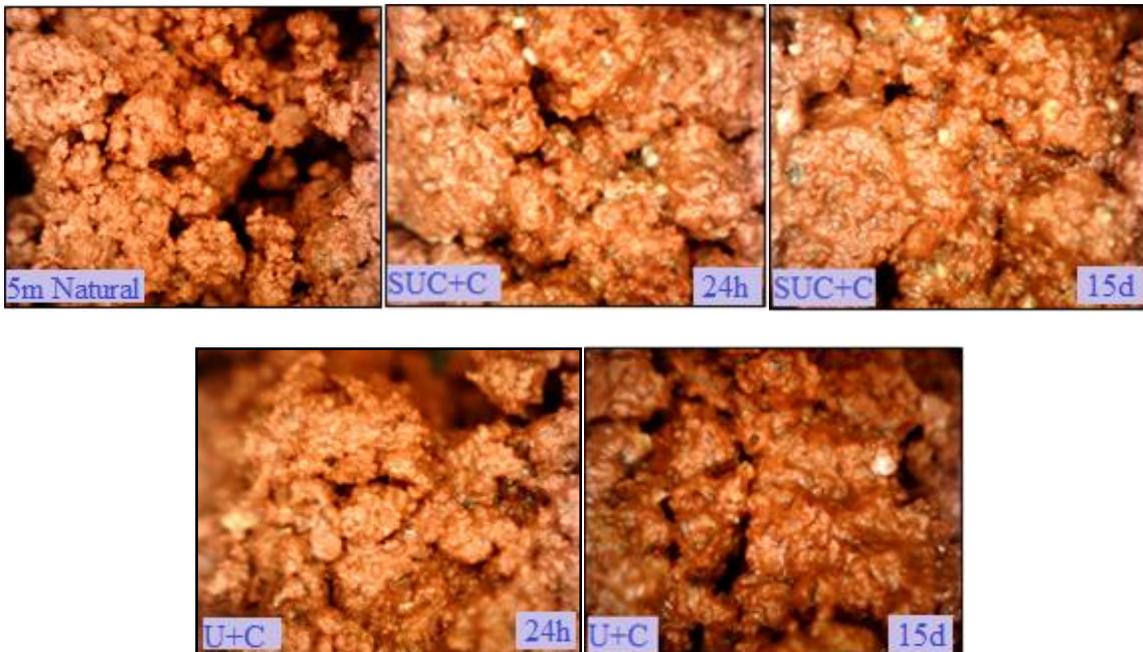


Figura 4.50. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 5 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias.

As Figuras 4.51 e 4.52 apresentam comparativamente para a profundidade de 9 m os resultados obtidos após 24 horas e 15 dias de exposição aos insumos considerando-se respectivamente 4% e 10% de aditivos. Como já visto, o solo desta profundidade apresenta maior variação na sua

distribuição granulométrica quando em contato com os insumos. Para o composto Ureia mais Calcário Calcítico se observa uma maior desagregação para o tempo de exposição 15 dias, desagregação que incrementa com aumento do teor do insumo. No caso do composto SUC mais Calcário Calcítico para o teor de 4% não se apresentaram mudanças texturais significativas entre as curvas obtidas para os diferentes tempos de exposição ocorrendo, no entanto, aumento na desagregação quando do uso de 10% de aditivo após 15 dias de exposição.

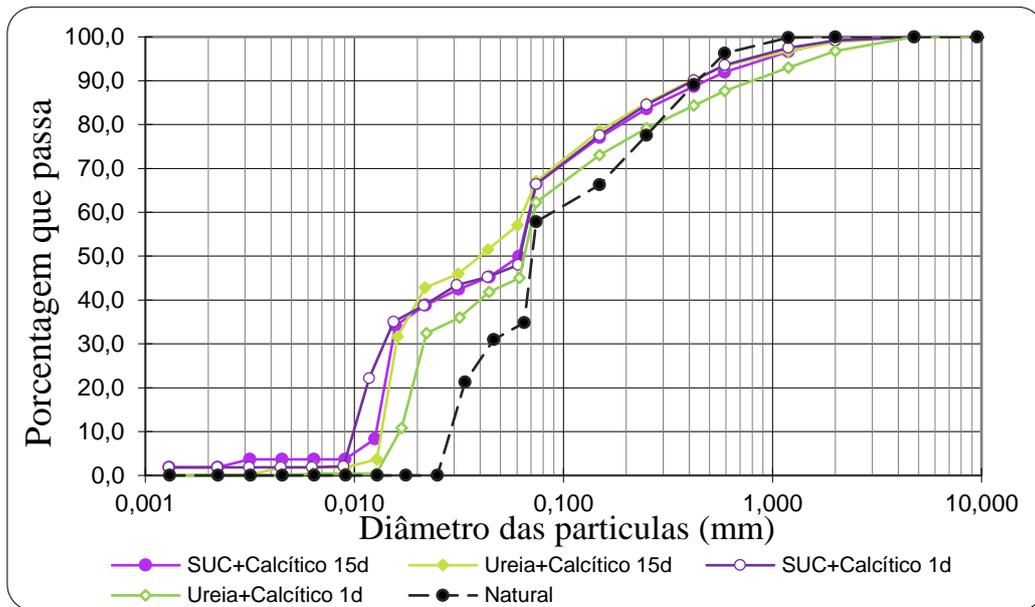


Figura 4.51. Solo de 9 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

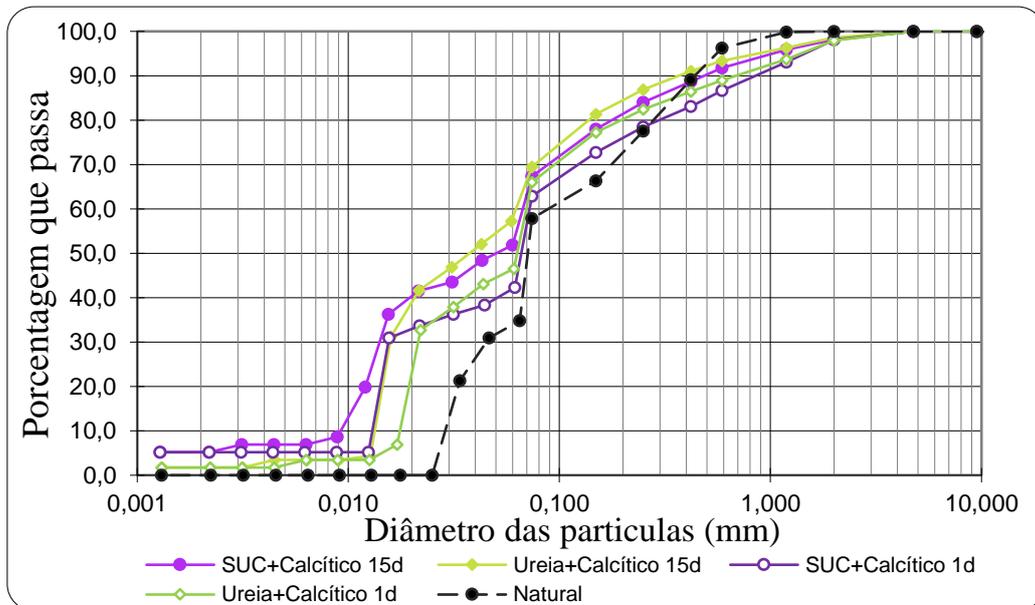


Figura 4.52. Solo de 9 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

A Figura 4.53 apresenta as imagens tanto para 24 horas quanto para 15 dias de exposição do solo misturado com o 10 % destes aditivos químicos. Em geral se observa, para as duas misturas, uma certa redução no tamanho das agregações com o tempo de exposição, indicando que a desagregação continua sendo gerada tal como se mostrou nos ensaios de granulometria.

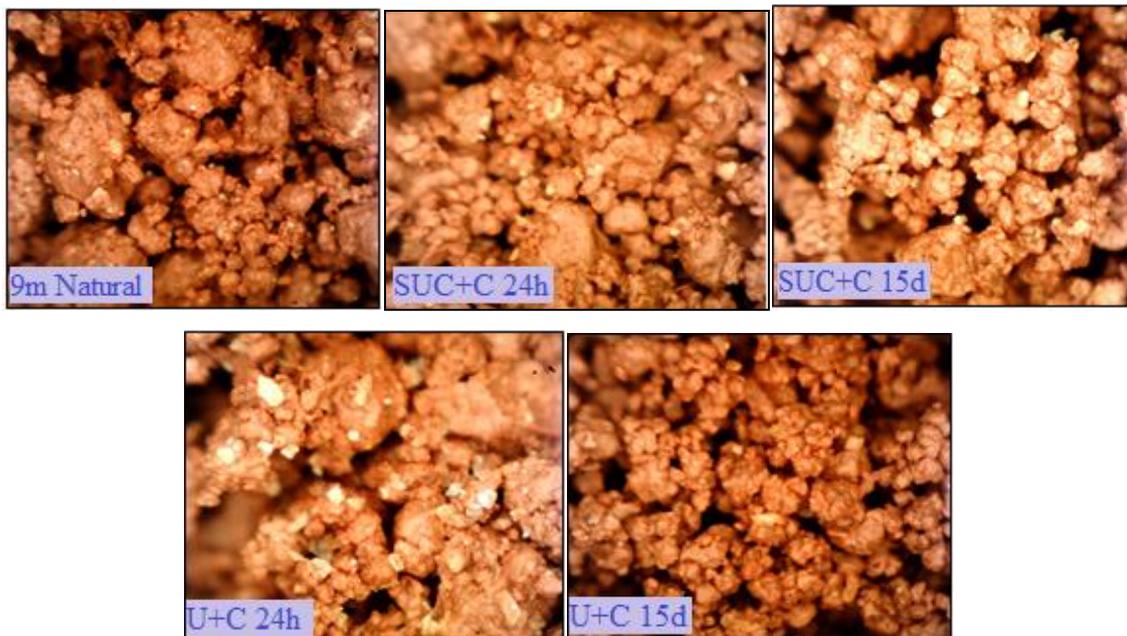


Figura 4.53. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 9 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias.

Finalmente para a profundidade de 11 m os resultados apresentados nas Figuras 4.54 e 4.55, mostram que o tempo de exposição de 15 dias em relação ao período de exposição de 24 horas ampliou a desagregação do composto Ureia mais Calcário Calcítico na fração inferior à 0,074 mm e aumentou a agregação gerada pelo composto SUC mais Calcário Calcítico na fração compreendida entre 0,02 mm e 0,074 mm. A agregação da mistura do solo com SUC mais Calcário Calcítico, se dá reduzindo o teor de partículas com diâmetro equivalente inferior a 0,02 mm. Esses fenômenos de desagregação nos dois tipos de misturas tendem a se ampliar quando se passa de 4% (Figura 4.54) para 10% (Figura 4.55) de insumo. Cabe lembrar que para essa profundidade optou-se por usar o termo defloculação pois as partículas se encontram isoladas, compondo flocos ou ainda integrando pacotes de argila oriundos do processo de formação.

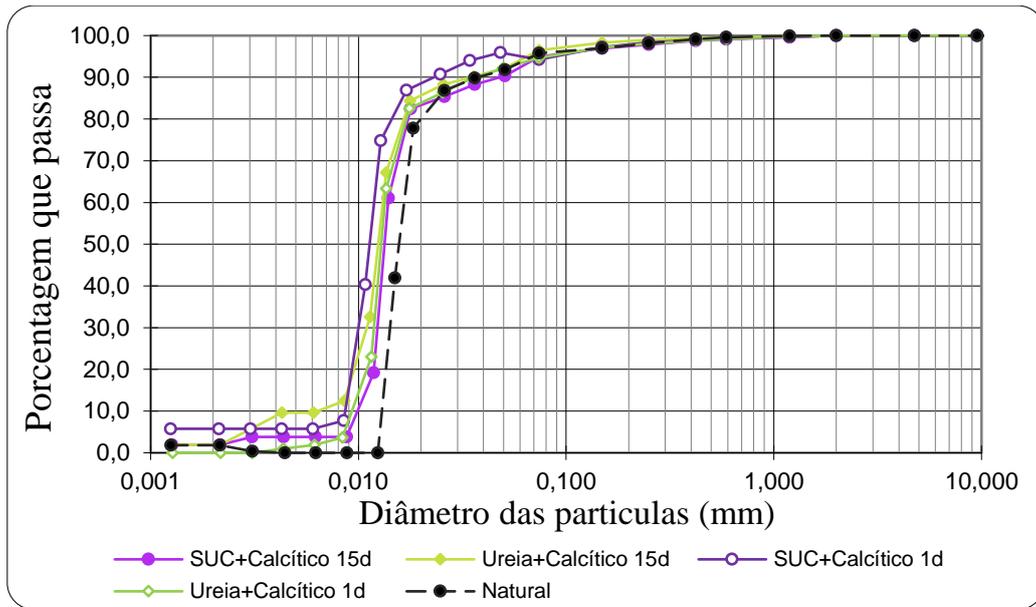


Figura 4.54. Solo de 11 m de profundidade com 4% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

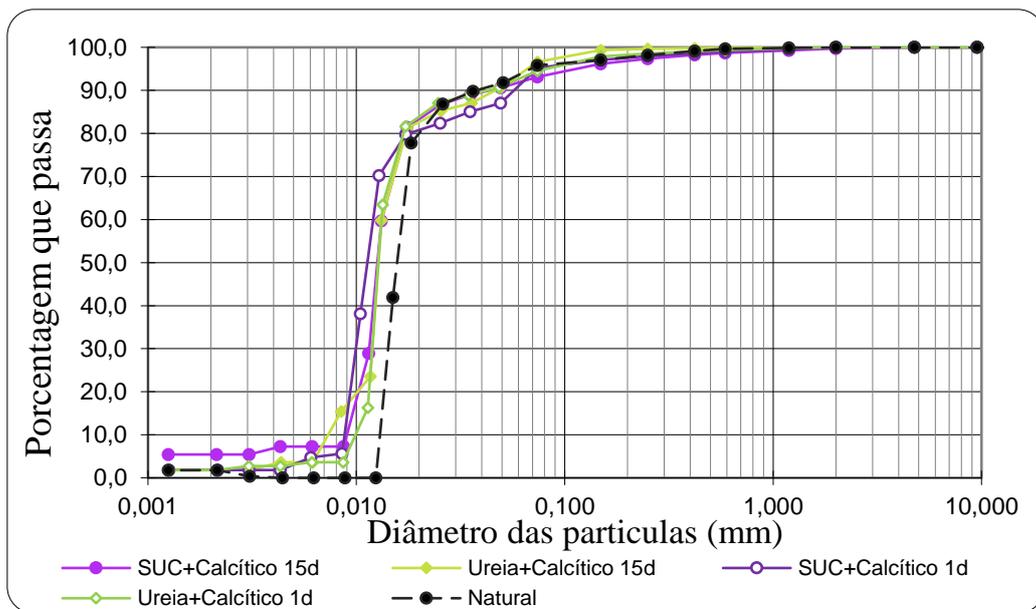


Figura 4.55. Solo de 11 m de profundidade com 10% de teor dos aditivos químicos e tempo de exposição de 15 dias.

Novamente nas análises das imagens mostradas na Figura 4.56, se observa um incremento da umidade com o tempo de exposição para a mistura com o composto SUC+C mas em geral não se apresentaram variações texturais claras em comparação com as imagens obtidas para o tempo de 24h de exposição. Na mistura com o composto U+C também não se percebem mudanças consideráveis na textura.

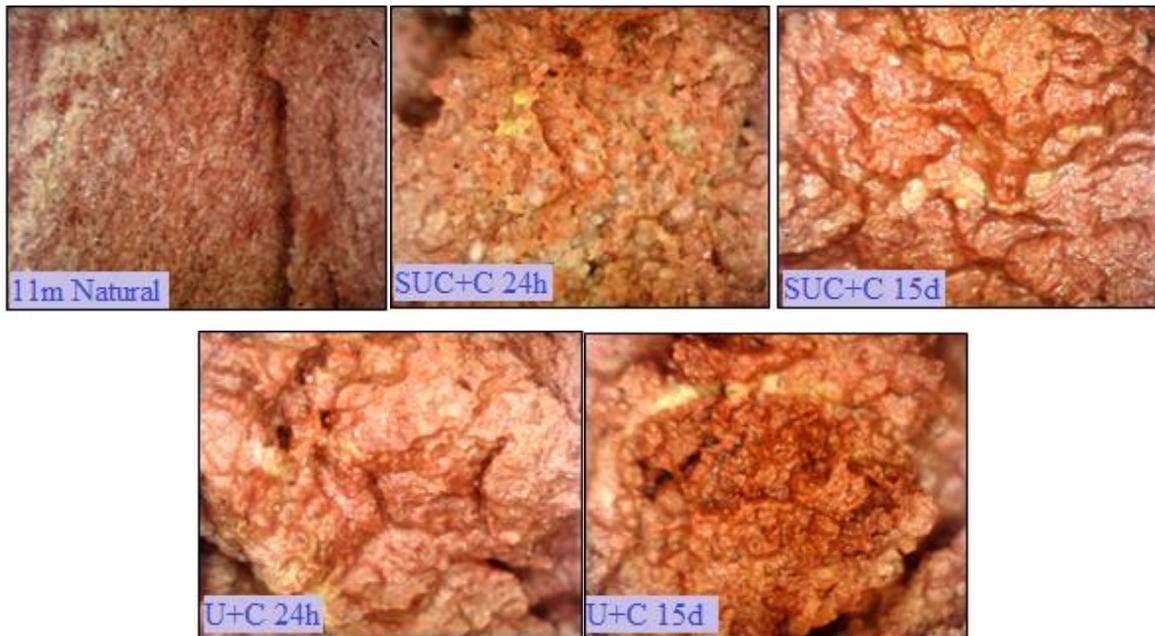


Figura 4.56. Imagens obtidas com a lupa para o solo de 11 m de profundidade misturado com 10% de teor de diferentes aditivos químicos e um tempo de exposição de 24 horas e 15 dias.

Então se conclui, que o efeito do tempo de exposição sob estes compostos químicos é pouco significativo, só ocorrendo certa agregação para o SUC mais Calcário Calcítico. Isso leva a duas hipóteses: a) estes compostos poderiam estar precisando de um tempo maior de exposição para iniciar o processo de precipitação do carbonato de cálcio e com isso melhorar a estrutura do solo ou b) estes compostos, ainda que contenham Ureia só para as misturas com SUC mais Calcário Calcítico teriam levado a algum nível de precipitação.

5.5. RESULTADOS DE pH

5.6.1. Tempo de exposição 24 horas

Na Figura 4.57, se encontram os resultados do pH medido em água para cada uma das misturas em estudo expostas por 24h aos diferentes aditivos químicos. Estes resultados são comparados com o PCZ do solo natural correspondente a cada uma das profundidades e sua análise poderá contribuir para o entendimento dos resultados obtidos nas análises granulométricas e de plasticidade que virão em seguida a esse item.

Analisando-se os resultados correspondentes ao pH das misturas em relação aos PCZs apresentados na Figura 4.57 e fazendo-se comparações com as curvas granulométricas se observam aspectos relevantes. Por exemplo, para o caso das curvas que representam as variações do pH ao longo perfil para os Calcários Dolomítico e Calcítico, cujo efeito na

granulometria não foi tão marcante, observa-se que elas estão se afastando da curva do PCZ, indicando com isso que pela ausência de cátions, produto das reações químicas, para gerar uma maior quantidade de ligações entre as partículas, essas ligações geradas devem se tornar mais fortes para manter o equilíbrio elétrico tornando-se mais difícil a separação das partículas que compõem os agregados, floculações e pacotes de argila conforme a camada analisada do perfil de intemperismo. A presença de calcário faz com que o pH fique mais básico com relação aos outros aditivos químicos, o que poderia, embora não tenha sido o caso, gerar desagregação devido ao aumento das forças de repulsão pela diminuição de H^+ . No tocante aos dois aspectos, proximidade do pH da mistura do PCZ e pH básico, a análise do comportamento textural do solo para as profundidades de 5 m e 9 m é particularmente ilustrativo, pois para a profundidade 5 m o pH da mistura do solo com Ureia é igual ao PCZ e a desagregação foi nessa profundidade maior para a Ureia e por último o Calcário Calcítico que apresenta o pH mais básico e sofreu muito pouca desagregação. Já para 9 m onde o pH da mistura do solo com Ureia é maior que o PCZ, apesar de pequena, a maior desagregação ocorreu em alguns casos para o Calcário Calcítico, e a Ureia praticamente não desagregou, ou seja, dessas comparações conclui-se que tanto o PCZ como o pH em si comparado ao pH do solo são elementos importantes quando se avalia a agregação e desagregação do solo.

Ainda exemplificando a importância do pH e do pH correspondente ao PCZ do solo, o pH da Ureia se aproxima do PCZ apenas para a profundidade de 5 m e apenas nessa profundidade é maior o seu impacto na estabilidade estrutural dos agregados afetando de modo marcante a textura do solo.

Observa-se também que o pH das misturas contendo o aditivo químico puro Cloreto de Potássio e o composto SUC, foram talvez os que geraram maiores mudanças na granulometria do solo em especial para o teor 10%, e são também aqueles cujo pH das misturas mais se aproxima da curva correspondente ao ponto de carga zero (PCZ) obtida para o solo natural. Já os pHs do Super Simples passaram pelo ponto de carga zero e diminuíram de modo significativo para as profundidades de 1 m e 5 m, ficando um pouco maior para a profundidade de 9 m e semelhante ao PCZ para a profundidade de 11 m (Figura 4.57). Em termos de textura, se observa pouca influência desse aditivo para a profundidade de 1 m, desagregação e agregação para as profundidades de 5 m e 9 m e importante desagregação para a profundidade de 11 m. Existe então para esse insumo uma certa importância do pH da mistura em relação ao PCZ, em especial para a profundidade 11 m e em relação ao mecanismo de agregação verificado para as

profundidades de 5 m e 9 m.

Embora fatores como a capacidade de troca de cátions, os cátions trocáveis, a mineralogia do solo e a composição química do aditivo assumam grande relevância nas propriedades e comportamento do solo, a alteração de textura mostrou, para o período de exposição de 24 horas aos aditivos estudados, uma importante correlação com a proximidade entre o pH da mistura e o PCZ, ou seja, os insumos agrícolas podem contribuir para a alteração estrutural do solo.

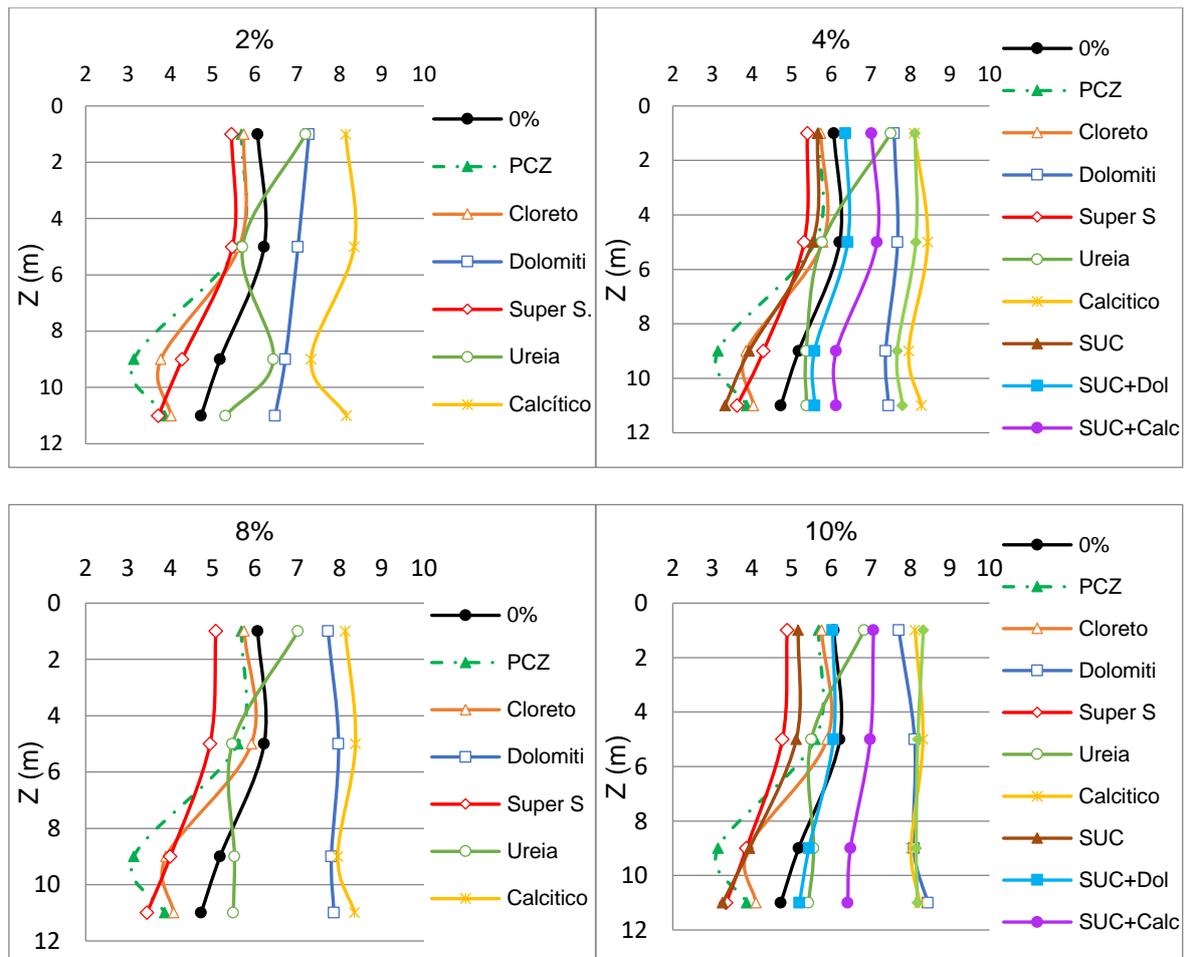


Figura 4.57. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 24h.

5.6.2. Tempo de exposição 7 dias

A seguir são mostrados os resultados de pH para o tempo de exposição de 7 dias (Figura 4.58). As misturas dos solos com cada um dos aditivos químicos estudados para este tempo de exposição, apresentam um pequeno incremento, em geral de decimais, do valor do pH para cada uma das profundidades e teores de aditivos químicos, a exceção da Ureia onde seu incremento

foi notavelmente maior na profundidade de 1 m e no caso do composto SUC mais Calcário Dolomítico cujo pH também apresentou maior variação na profundidade de 11 m.

De acordo com os resultados de granulometria para a profundidade de 1 m e tempo de exposição de 7 dias, a Ureia foi quem gerou a maior desagregação das partículas seguida do Cloreto de Potássio e do composto SUC. Se analisados os pHs desses aditivos verifica-se que o pH da Ureia tornou-se bastante básico ampliando assim as forças de repulsão entre as partículas e o pH do Cloreto de Potássio e do SUC mantiveram-se próximos ao PCZ nessa profundidade o que mais uma vez confirma a influência tanto do PCZ como do pH básico no fenômeno de desagregação das partículas.

Outra mudança visível em comparação com os resultados obtidos para o tempo de exposição de 24 horas, é o comportamento apresentado pela curva correspondente à mistura do solo com o composto SUC mais Calcário Dolomítico principalmente na profundidade de 11 m, onde com os dois teores estudados, 4% e 10%, se observa um afastamento do pH da mistura da curva do PCZ, precisando uma maior força para manter o equilíbrio de cargas, que finalmente pode gerar uma agregação de partículas. Este comportamento se evidenciou nos resultados de sedimentação, onde o solo misturado com este composto apresentou uma pequena agregação na fração mais argilosa. É importante observar que para a profundidade de 1 m quando o teor desse aditivo é 4% o pH se afasta do PCZ sem que, no entanto, se torne muito básico e o solo praticamente não se desagrega, porém, ao se incorporar 10% desse aditivo o pH se aproxima do PCZ e o solo passa a apresentar desagregação das partículas.

Cabe destacar ainda a situação da mistura do solo com o Super Simples. Nesse caso observou-se que a textura após o período de 7 dias de exposição ao aditivo passou para 1 m de profundidade por pequena desagregação das partículas enquanto o pH era ácido e um pouco menor que o do PCZ do solo. Para as profundidades de 5 m e 9 m o solo apresentou agregação na fração mais granular e desagregação na mais fina e o pH ácido oscilou em torno do PCZ. Para a profundidade de 11 m, na qual o pH foi semelhante ao do PCZ essa mistura foi a que mais defloculou.

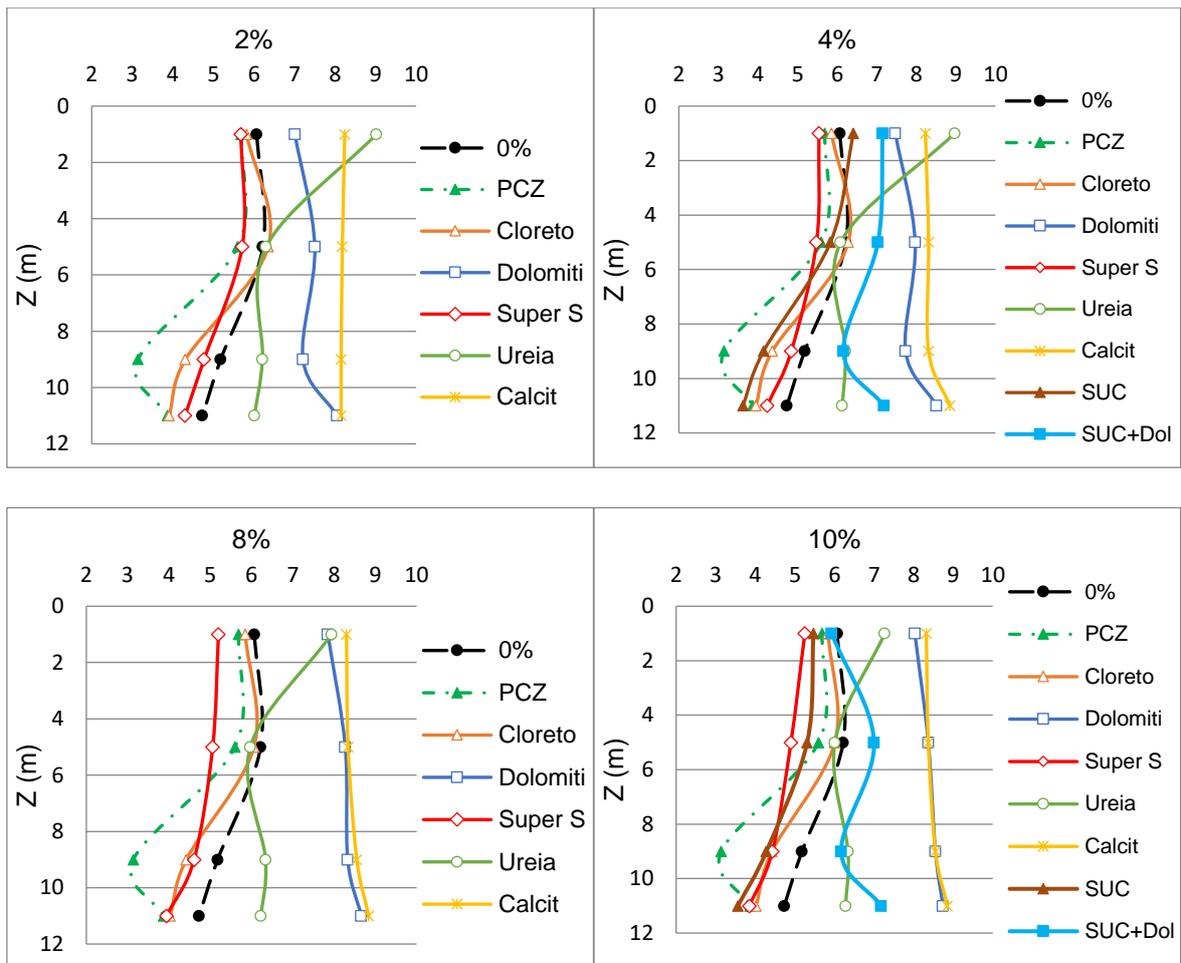


Figura 4.58. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 7 dias.

As análises de pH realizadas para o tempo de exposição de 7 dias confirmam a importância de considerar a influência do pH e do PCZ na estabilidade estrutural do solo ao longo do perfil de intemperismo.

5.6.3. Tempo de exposição 15 dias

A Figura 4.59 apresenta os resultados de pH obtidos para o perfil de solo após 15 dias de exposição aos insumos agrícolas. Cabe lembrar, que para esse período de exposição foram analisadas apenas as misturas contendo o Calcário Calcítico, ou seja, as misturas com SUC e com Ureia. Observa-se nessa figura que as curvas correspondentes aos perfis de pH de cada um dos compostos analisados correspondentes aos 15 dias de exposição encontram-se mais afastadas da curva do PCZ que as curvas obtidas após o tempo de exposição de 24 horas, ou seja, estão se tornando mais básicas, o que por um lado significa que os compostos com o tempo, continuam diminuindo a quantidade de H^+ disponível no solo o que poderia melhorar

sua estrutura ao fortalecer a união das partículas com os outros cátions e por outro estariam aumentando as forças de repulsão em consequência do pH tornar-se mais básico. Existiria ainda, como terceira hipótese (Gonzales 2009), a possibilidade de precipitação de carbonato de cálcio no solo gerando sua agregação.

Analisando-se comparativamente as curvas granulométricas observa-se que a agregação se deu apenas na matriz fina para o solo oriundo da profundidade de 5 m o que poderia ser fruto de simples troca iônica ou da precipitação de carbonato de cálcio, no entanto, como os resultados obtidos para 24 horas e 15 dias são semelhantes é possível descartar a possibilidade de precipitação do carbonato de cálcio por ação bacteriana (Gonzales, 2009). Para as demais profundidades embora tenha ocorrido desagregação em relação ao solo natural, não é possível estabelecer uma relação direta entre o pH e a desagregação o que aponta para a relevância dos cátions disponibilizados para troca em relação aos cátions trocáveis presentes nos solos.

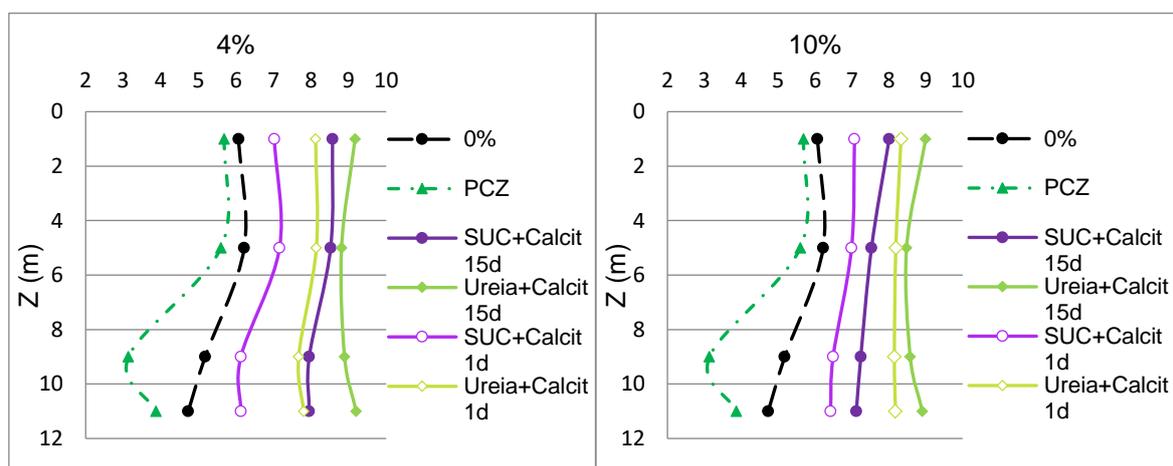


Figura 4.59. Resultados de pH para os diferentes teores das misturas solo-insumo, com tempo de exposição de 15 dias

5.7. RESULTADOS DE LIMITES DE ATTERBERG

5.8.1. Tempo de exposição 24 horas

A Figura 4.60 apresenta as variações dos Limites de Liquidez (w_l) e Plasticidade (w_p) com a profundidade para um tempo de exposição do solo ao aditivo químico igual a 24 horas considerando nas misturas 10% de aditivo. Antes de adentrar nas discussões dos resultados obtidos cabe destacar que o ensaio de limite de liquidez pelo método de Casagrande, método adotado nessa pesquisa, corresponde à determinação da umidade para a qual a ranhura feita no solo se fecha com 25 golpes em aproximadamente 13 mm. Como na condição correspondente

ao ensaio de limite de liquidez o solo se encontra saturado, isso significa que maior o limite de liquidez do solo, maior será a porosidade e por consequência maior a sua resistência nessa umidade em relação a solos com menor w_l . Cabem aqui duas ressalvas: 1) nos solos expansivos faz-se necessário eliminar dos cálculos a umidade que ocupa os espaços basais, pois esta não contribui para a resistência interpartículas; 2) nos solos tropicais profundamente intemperizados deve-se desconsiderar a umidade que ocupa os poros presentes no interior dos agregados, pois estes não contribuem para a resistência do solo (Camapum de Carvalho, 2017). No presente estudo essas ressalvas não serão consideradas, pois isso implicaria em estudos complementares, destaca-se, no entanto, que estudos realizados por Carvajal *et al.* (2005) para solos da mesma localidade indicaram que a destruição dos agregados gerava um aumento nos limites de liquidez e plasticidade.

No ensaio de Limite de Plasticidade se determina a resistência ao fissuramento, que pode ser relacionada à resistência à tração do solo (Grim, 1962), cabendo lembrar que também nesse ensaio o solo encontra-se em princípio saturado. Tem-se então, que maior esse limite, maior a resistência do solo, pois ele se encontra mais poroso para a mesma medida de resistência. Se com a incorporação do aditivo químico ele aumenta significa que o solo ficou mais resistente e se diminui que o solo ficou menos resistente. Cabe aqui lembrar que tanto a observação sobre os solos expansivos como a feita para os solos profundamente intemperizados continuam válidas para o caso desse ensaio.

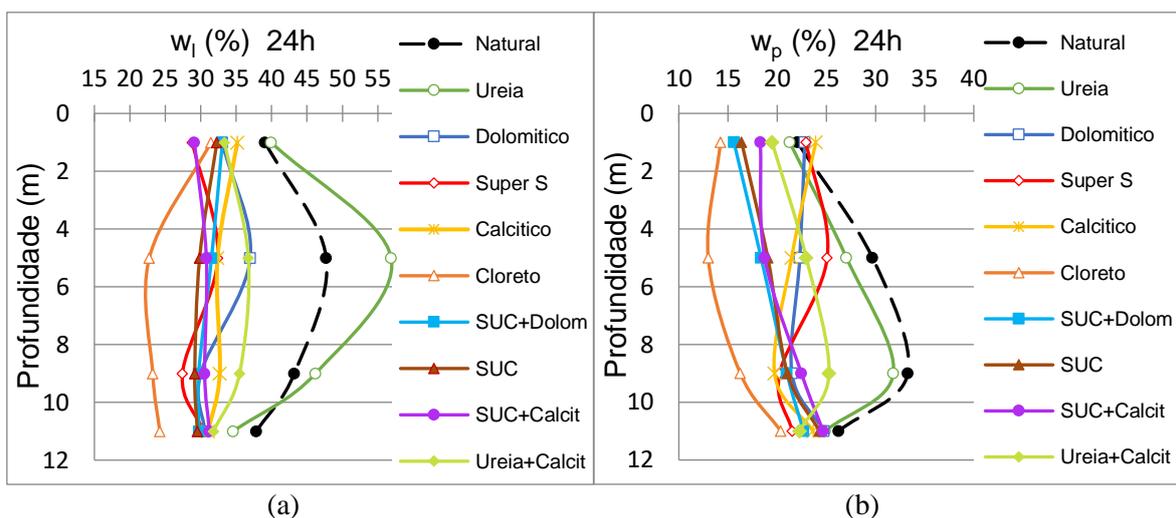


Figura 4.60. Resultados dos Limites de Atterberg, com tempo de exposição de 24h: a) w_l ; b) w_p

Na Figura 4.60 (a) correspondente ao limite de liquidez, apenas os resultados gerados pela Ureia ficaram afastados da faixa de valores formada pelos resultados dos outros aditivos químicos, inclusive com ampliação mais importante na profundidade de 5 m, superando o valor que

apresenta o solo natural sinalizando para uma melhoria do comportamento mecânico. Se sabe que no ensaio de sedimentação nessa profundidade, este insumo foi quem gerou a maior desagregação para alguns tamanhos de partículas, o que poderia no caso estar contribuindo para a ampliação do w_l . Em termos de textura, verificou-se para as demais profundidades que a Ureia desagregou um pouco o solo a 1 m e praticamente ele não desagregou os solos oriundos de 9 m e 11 m de profundidade, ou seja, a influência desse aditivo no limite de liquidez do solo está sobretudo ligado a fenômenos de ordem química. Os resultados obtidos para o limite de plasticidade das misturas com esse aditivo químico, por serem um pouco inferiores aos obtidos para o solo natural corroboram com esse entendimento. Também cabe destacar que segundo o indicado por Santos (1975), as argilas podem diminuir sua plasticidade com o incremento de cátions e então se poderia dizer que o incremento gerado neste caso se deu por uma diminuição dos cátions presentes no solo.

À exceção da Ureia, se observa tanto para os resultados de w_l como de w_p uma diminuição significativa nos valores obtidos para as misturas do solo com os insumos agrícolas, com relação aos valores obtidos para o solo natural. Segundo Grim (1962), isto indica que poderia se apresentar uma diminuição da resistência, devido a que o solo misturado com os fertilizantes atinge os dois Limites com um menor conteúdo de umidade, principalmente a mistura feita com o Cloreto de Potássio, o qual apresenta os valores menores. Em relação à textura desse aditivo destaca-se que para a profundidade de 1 m ele apresentou desagregação, para as profundidades de 5 m e 10m apresentou trechos de agregação e desagregação e para a profundidade de 11 m ele defloculou e/ou separou as partículas integrantes do pacote de argila o que sinaliza para uma influência predominantemente de ordem química no caso desse composto.

Observa-se que de um modo geral o composto Ureia mais Calcário Calcítico, foi o que apresentou a menor diminuição do w_l com relação ao solo natural, certamente devido ao efeito da Ureia que como visto anteriormente tende a aumentá-lo.

Destaca-se ainda que enquanto os limites de liquidez das misturas tenderam para a maioria das misturas a se manterem constantes com a profundidade, os limites de plasticidade tenderam a aumentar em alguns casos e se manterem constantes em outros, sendo, no entanto, que para a maioria dos casos os resultados foram inferiores aos resultados obtidos para o perfil de solo natural, ou seja, o solo fica mais susceptível às mudanças de umidade. Em termos do limite de plasticidade apenas para a profundidade de 1 m, a Ureia, os dois calcários estudados e o Super Simples afetaram pouco o w_p do solo, afetando então em menor escala a resistência a tração e

nos demais casos gerou uma piora no comportamento.

A Figura 4.61 apresenta as curvas de fluidez obtidas para o solo natural e para as diferentes misturas. Cabe lembrar que estas são obtidas para o solo em estado saturado e corresponde à variação do número de golpes com o teor de umidade. Então, para uma mesma faixa de umidade, mais íngreme a curva, maior é a variação do número de golpes, ou seja, da resistência com a umidade. Ao mesmo tempo, maior a umidade para um mesmo número de golpes, mais resistente é o solo à liquefação. Sendo assim é possível concluir com base nos resultados obtidos, que apenas a Ureia gerou, para as profundidades de 5 m e 9 m, melhoria no comportamento do solo frente aos golpes fornecidos pelo aparelho de Casagrande e que a maior piora do comportamento, exceto para a profundidade de 1 m, se deu para o Cloreto de Potássio. Na profundidade de 1 m os piores comportamentos foram registrados para o Super Simples e para o composto SUC mais Calcário Calcítico. Observa-se ainda desses gráficos que de um modo geral os aditivos tenderam a gerar curvas mais íngremes apontando para maiores sensibilidades das misturas às variações de umidade em relação ao solo natural.

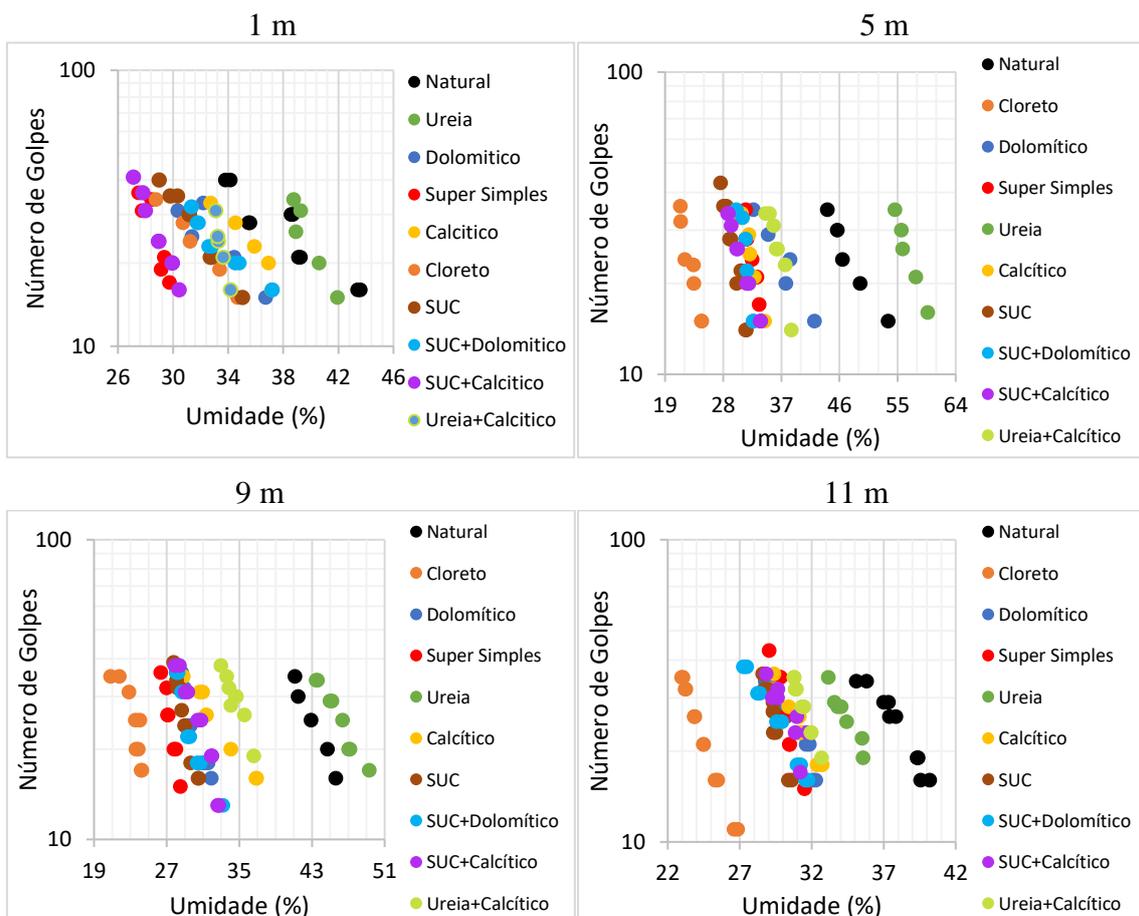


Figura 4.61. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 24h.

A Figura 4.62 apresenta as curvas correspondentes ao Índice de Plasticidade obtidas para o solo natural e para as diferentes misturas.

Fazendo-se uma breve reflexão sobre a possibilidade de corridas de lama em solos impregnados por esses insumos agrícolas estudados, tem-se, exemplificando para as profundidades de 5 m e 9 m, que o solo impregnado pela ureia, rompida uma encosta, fluiria para uma condição de porosidade inicial superior à da impregnação por cloreto de potássio, pois o limite de liquidez daquela é superior ao deste, em outras palavras, o cloreto de potássio estaria fragilizando a interação entre partículas do solo, enquanto a Ureia estaria fortificando-la.

Dos resultados mostrados se observa que a mistura contendo Ureia apresenta, à exceção da profundidade 9 m, um I_p maior com relação ao obtido para o solo natural, principalmente na profundidade de 5 m. Ao contrário, o Super Simples foi o aditivo que gerou, a exceção dos 11 m de profundidade, a menor plasticidade no solo.

Se observa ainda dos resultados apresentados que os diferentes compostos contendo Ureia tendem a apresentarem os valores de I_p mais próximos aos do solo natural, isto devido a que Ureia presente na composição tende a incrementar a plasticidade do solo.

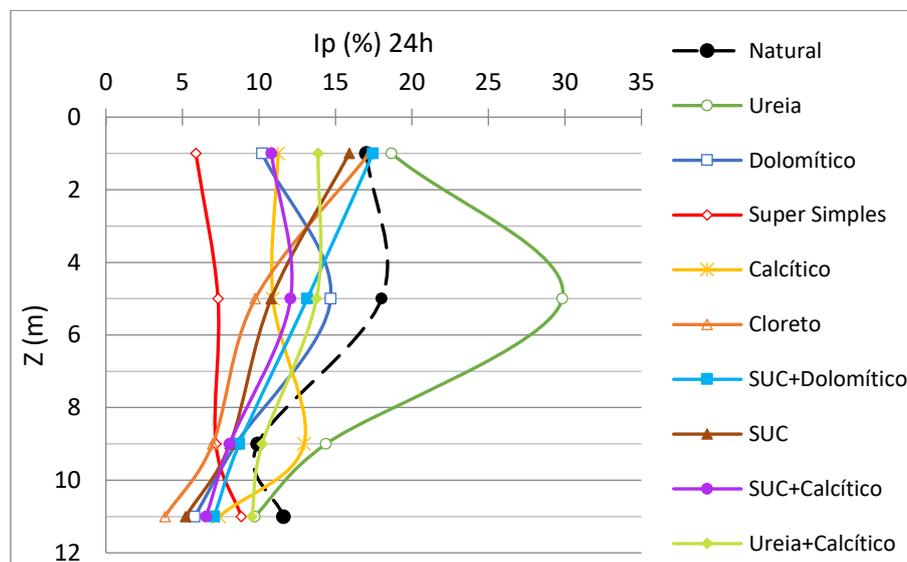


Figura 4.62. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 24h.

5.8.2. Tempo de exposição 7 dias

A Figura 4.63 apresenta as variações dos Limites de Liquidez (w_l) e de Plasticidade (w_p) com a profundidade para um tempo de exposição do solo aos aditivos químicos de 7 dias.

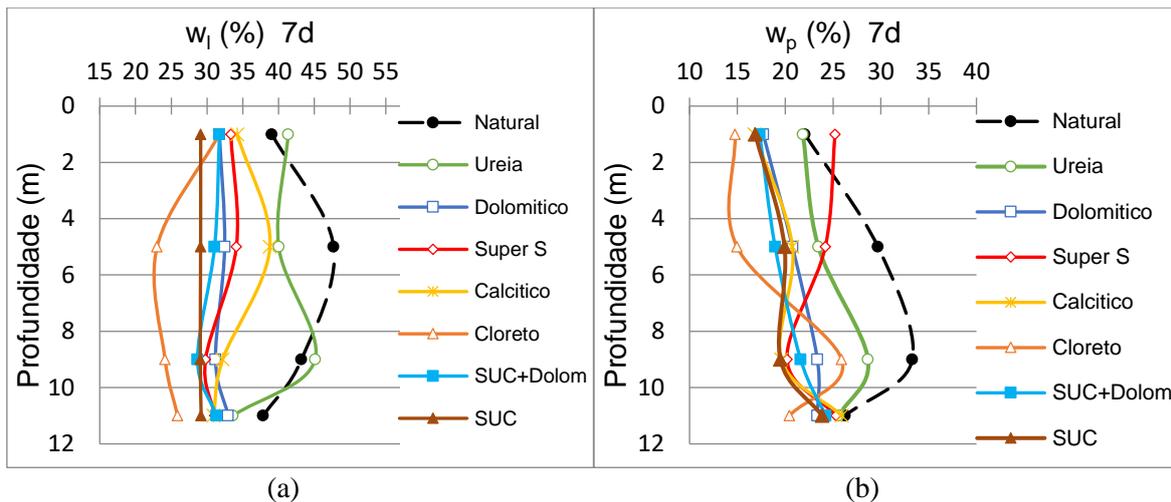


Figura 4.63. Resultados dos Limites de Atterberg, para o tempo de exposição de 7 dias: a) w_l ; b) w_p

Neste tempo de exposição de 7 dias se nota um leve deslocamento para a direita dos valores de w_l para as misturas com Cloreto de Potássio e Super Simples, enquanto que os outros aditivos apresentaram em geral, uma pequena diminuição nos seus resultados, ou seja, como discutido anteriormente, estes últimos estariam apresentando uma diminuição na sua resistência. Mesmo que as mudanças apresentadas no w_l do solo com os 7 dias de exposição foram muito pequenas, é importante ter em conta que no campo o solo fica exposto a estes insumos agrícolas por meses e até anos o que deve gerar um efeito ainda maior em sua estrutura e comportamento mecânico.

Com respeito ao w_p , a mistura com o Cloreto de Potássio apresentou um incremento em seus resultados principalmente na profundidade de 9 m, onde passou de 16,3% para 25,9% uma diferença considerável. Nesta profundidade tem-se caulinita a qual ao reagir com cátions de potássio tende a gerar valores maiores de w_p em comparação com outros cátions (White 1955 apud Grim 1962).

Outra mudança significativa no w_p foi a gerada pelo Super Simples na profundidade de 1 m onde ficou com um valor maior que aquele que corresponde ao solo natural. Como se falou anteriormente a maior parte do Super Simples não é absorvido pelo solo, gerando um incremento na quantidade de partículas finas o que favorece o aumento da plasticidade.

A Figura 4.64 apresenta os resultados obtidos em termos de fluidez para o período correspondente a 7 dias de exposição. Comparativamente, os resultados são semelhantes aos obtidos para 24 horas de exposição do solo aos aditivos químicos com os respectivos deslocamentos discutidos quando da apresentação dos resultados dos limites de Atterberg, cabe, no entanto, destaque a mudança de comportamento em relação ao solo natural pelos aditivos contendo Ureia, para os quais fica clara a redução da plasticidade com o tempo de exposição.

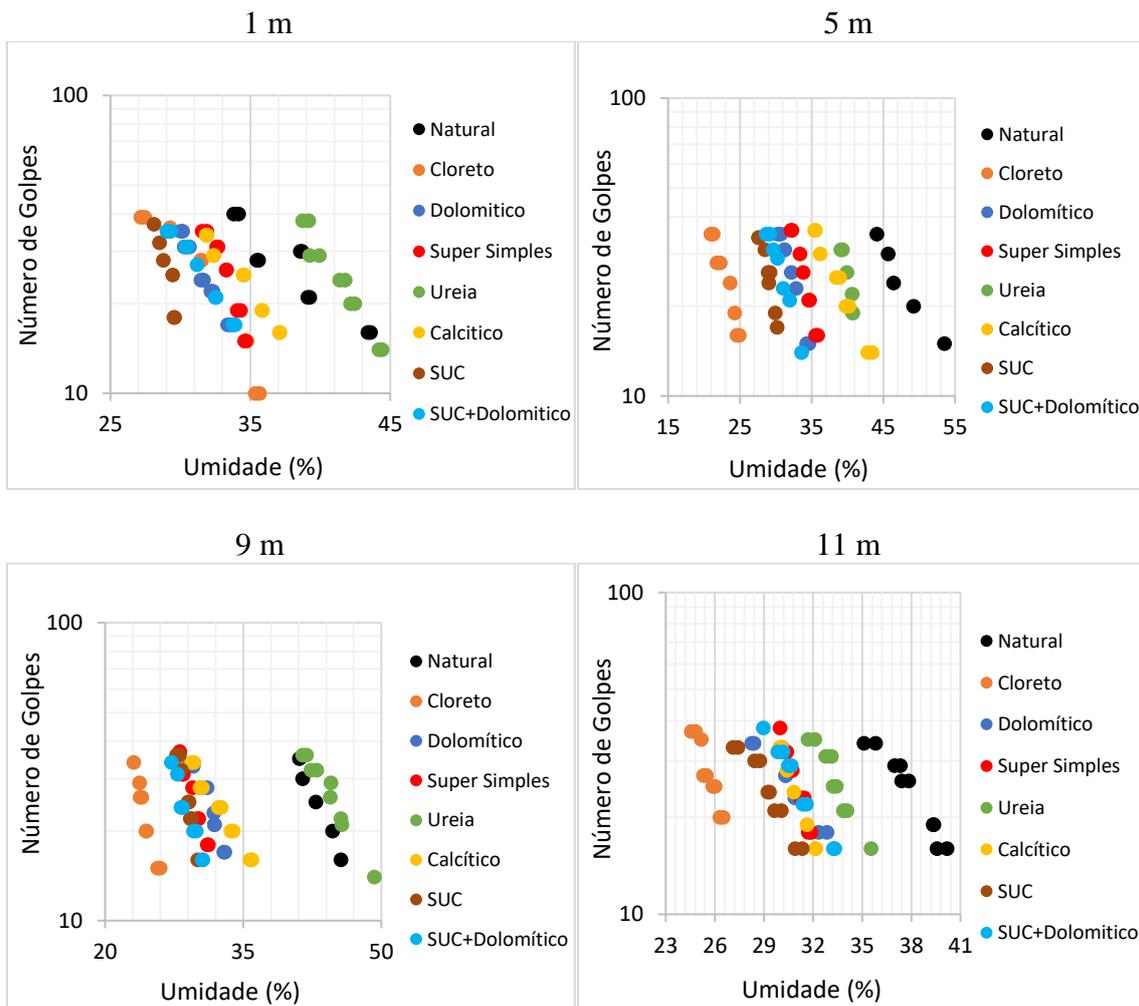


Figura 4.64. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 7 dias.

Na figura 4.65 são mostrados os perfis do índice de plasticidade das diferentes misturas para um tempo de exposição de 7 dias. Neste caso a Ureia continua sendo a que apresenta os maiores valores de I_p a exceção dos 5 m de profundidade onde para todos os aditivos químicos se apresentou uma diminuição do I_p . Cabe destacar que nos resultados de granulometria desta profundidade e para os 7 dias de exposição, a Ureia foi a que gerou a maior desagregação de alguns tamanhos de partículas, seguida pelo Cloreto de potássio e o composto SUC, resultados que também são justificados com o I_p já que a diminuição deste valor foi considerável para o caso da Ureia, e em menor medida para o caso do Cloreto e do composto SUC. Estes últimos são inclusive os que apresentaram os menores valores de I_p nesta profundidade.

Também se observa um comportamento similar para os aditivos químicos Calcário Dolomítico e SUC mais Calcário Dolomítico e sendo os valores de I_p um pouco inferiores aos valores obtidos para 24h de exposição. Nos 9 m de profundidade o composto SUC mais Calcário

Dolomítico e o Cloreto de Potássio, foram os aditivos que apresentam os menores valores de I_p e além disso nas análises granulométricas para este tempo de exposição, foram estes dois produtos os que geraram a maior desagregação, mostrando a relação entre os resultados. Cabe destacar que a desagregação pode levar ao aumento ou redução dos limites de Atterberg e embora essa alteração também possa ocorrer no I_p , pois os mecanismos de mobilização da resistência nos dois limites são distintos, ela deve estar também atrelada ao efeito químico do aditivo na energia de ligação entre as partículas.

Os insumos Super Simples, Cloreto de Potássio, Calcário Calcítico e o composto SUC são os que apresentam os menores valores de I_p da Figura 4.65 para a profundidade de 11 m, e foram estes, a exceção do Calcário Calcítico, os que geraram a maior desagregação no ensaio de sedimentação desta profundidade.

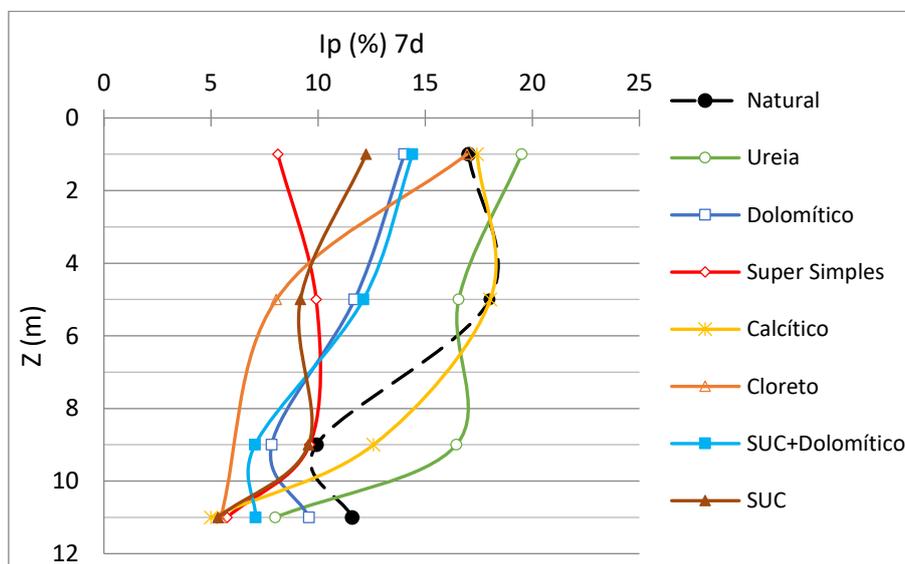


Figura 4.65. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 7 dias

5.8.3. Tempo de exposição 15 dias

Como já exposto, para este tempo de exposição, foram analisadas as misturas com os compostos Ureia mais Calcário Calcítico e SUC mais Calcário Calcítico (Figura 4.66).

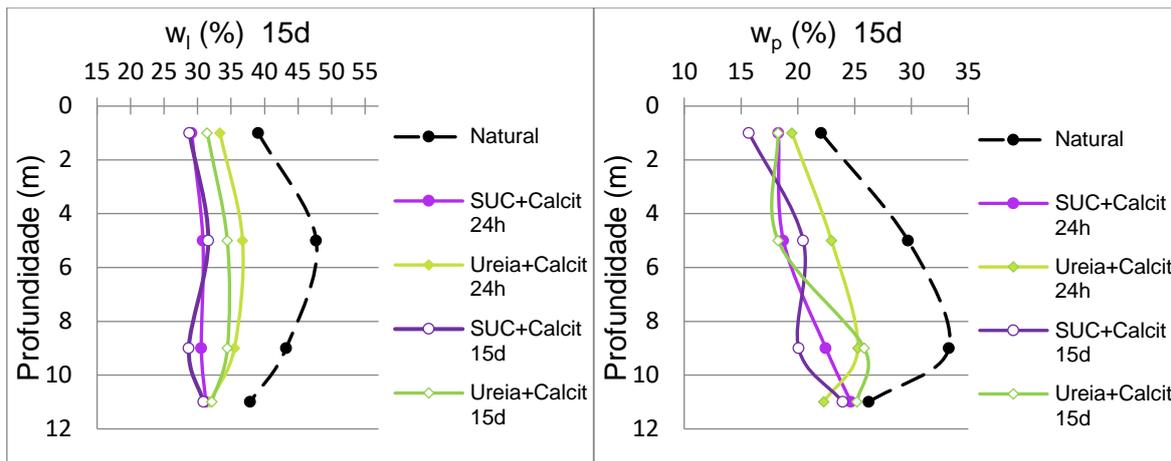
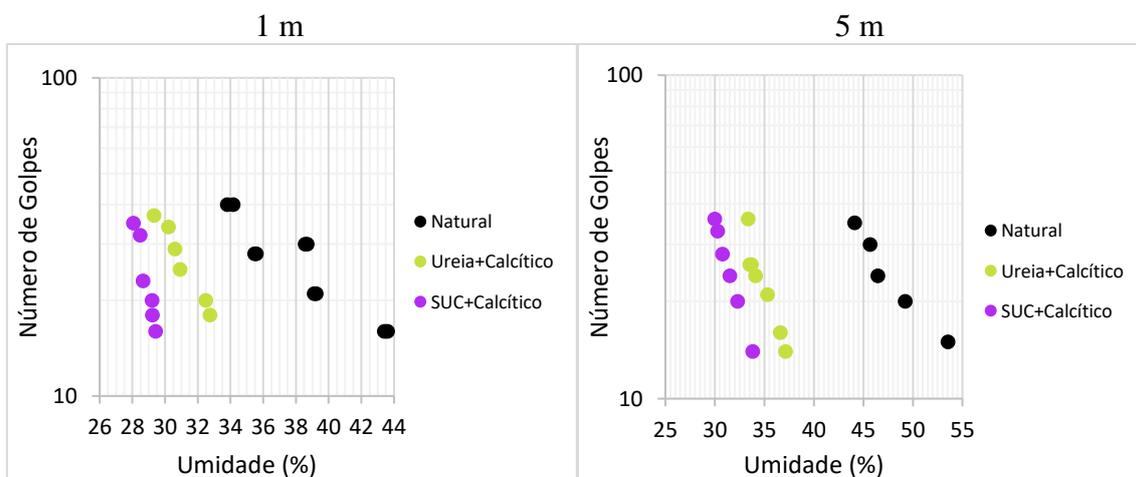


Figura 4.66. Resultados dos Limites de Atterberg, com tempo de exposição de 15 dias.

Conforme apresentado por White 1955 (Grim, 1962), se sabe que os cátions afetam os limites de Atterberg dos solos compostos por caulinita e ilita. Tendo em conta o exposto, ao se comparar os resultados obtidos para os diferentes tempos de exposição, se observa que a mistura do solo com o composto Ureia mais Calcário Calcítico diminui o limite de plasticidade com o tempo em especial para os solos mais ricos em caulinita, o que leva a pensar que o efeito da Ureia predomina sobre o gerado pelo Calcário Calcítico. Para o caso da mistura com o composto SUC mais Calcário Calcítico, não é clara a influência na plasticidade dos solos estudados já que o comportamento varia muito de uma profundidade a outra.

Quanto às curvas de fluidez a Figura 4.67 mostra que as misturas com calcário tendem a tornarem as curvas de fluidez mais íngremes e com certo paralelismo entre as duas combinações estudadas, apesar da maior redução de plasticidade gerada pela mistura SUC mais Calcário Calcítico em todas as profundidades.



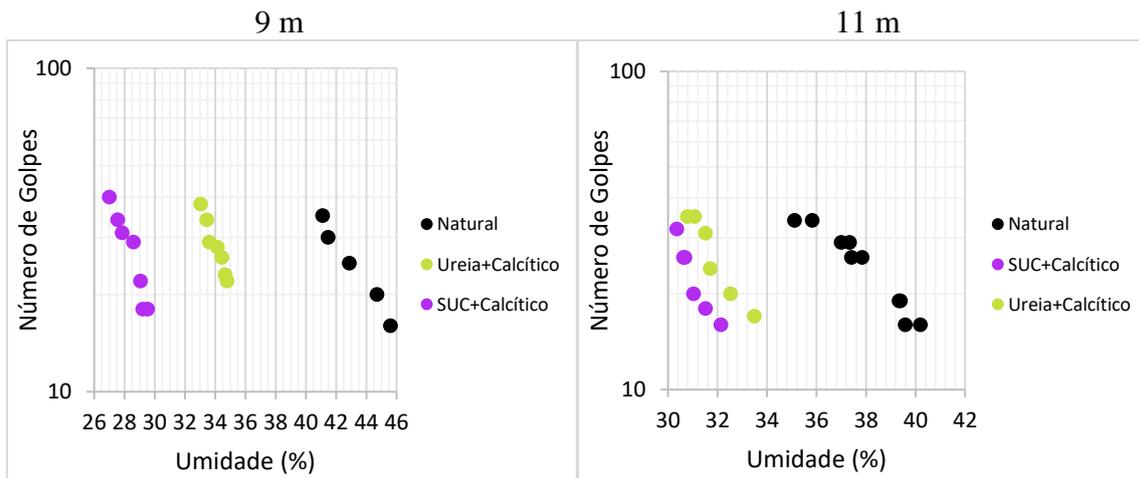


Figura 4.67. Curvas de Fluidez para o período de exposição de 15 dias.

A Figura 4.68 apresenta os perfis do índice de plasticidade (I_p) obtidos para o tempo de exposição 15 dias. Nessa figura se observa na profundidade de 1 m, um incremento do I_p para o composto SUC mais Calcário Calcítico 15 dias e uma pequena diminuição para a Ureia mais Calcário Calcítico 15 dias, resultados que correspondem com a análise granulométrica onde o primeiro gerou menor desagregação e o segundo gerou maior desagregação no solo. Com respeito aos 5 m, não se apresentaram variações muito significativas na granulometria, mas o resultado de I_p apresentou um incremento com o tempo de exposição para a mistura com o composto Ureia mais Calcário Calcítico e uma redução para a mistura SUC mais Calcário Calcítico fazendo sobressair a importância dos aditivos SUC e Ureia na combinação com o Calcário Calcítico. Finalmente, os resultados obtidos para 9 m e 11 m de profundidade não variaram significativamente com respeito aos obtidos para as 24h de exposição

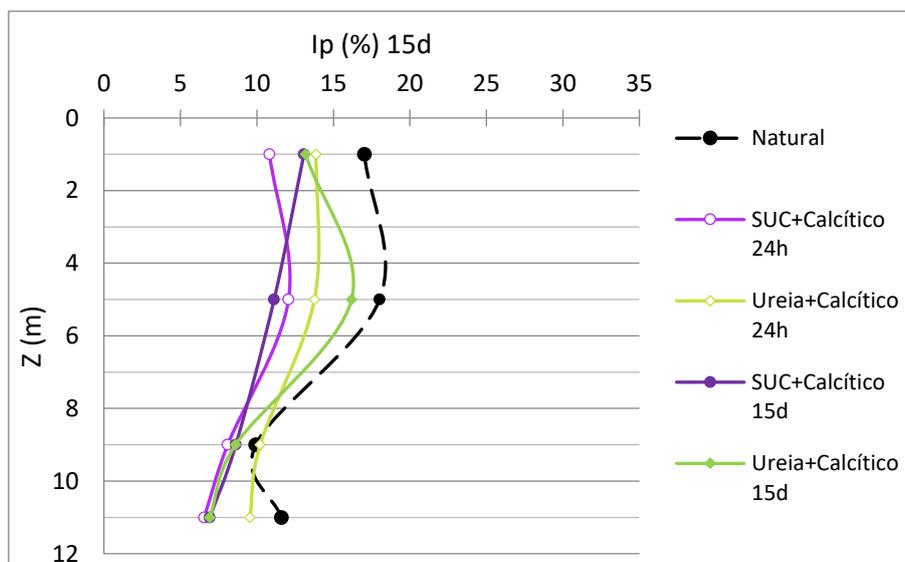


Figura 4.68. Curvas do Índice de Plasticidade para o período de exposição de 15 dias.

5.9. INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DOS GRÃOS NO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

Foram feitos ensaios de DRX para os solos coletados a 1 m e 11 m de profundidade, com o objetivo de obter a composição mineralógica e de modo semiquantitativa, os teores correspondentes a cada um dos minerais constituintes. Buscando na literatura valores de densidade para cada um dos minerais presentes nos solos, se determinou um valor mínimo e máximo de densidade relativa (ρ_s) desses dois solos. Estes resultados são apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.9 respectivamente para os solos coletados a 1m e 11 m de profundidade.

Determinou-se também as densidades dos grãos coletando-se amostras ao longo da proveta, para as profundidades de 1 m e 11 m. Considerando-se a texturas dos solos, os valores de ρ_s foram determinados sobre amostra coletadas após 10 minutos de sedimentação para a amostra oriunda da profundidade 1 m e após 1 hora para a amostra oriunda da profundidade 11 m

Tabela 4.8. Valores do ρ_s médio para o solo de 1 m, a partir da sua composição mineralógica.

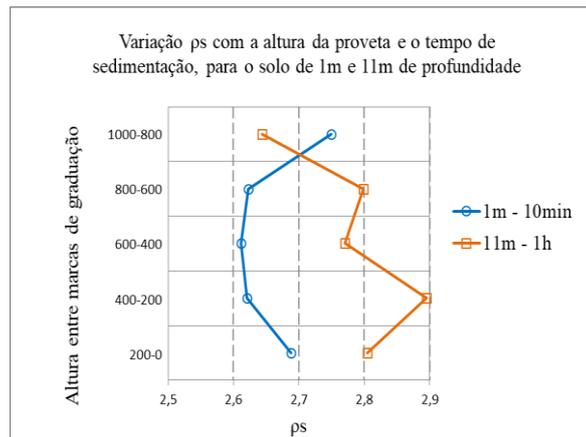
| Minerais no solo de 1m | Teor | ρ_s min da literatura | ρ_s máx da literatura |
|--------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|
| Anatásio | 0,8% | 3,9 | 3,9 |
| Gibbsita | 29,9% | 2,3 | 2,4 |
| Hematita | 9,0% | 4,9 | 5,3 |
| Caulinita | 19,0% | 2,1 | 2,6 |
| Quartzo | 40,0% | 2,65 | 2,65 |
| Ilmenita | 0,8% | 4,7 | 4,7 |
| Maghemita | 0,5% | 4,9 | 4,9 |
| ρ_s média do solo | | 2,68 | 2,84 |
| ρ_s pentapicnometro | | 2,738 | |

Tabela 4.9. Valores do ρ_s médio para o solo de 11 m, a partir da sua composição mineralógica.

| Minerais no solo de 11m | Teor | ρ_s min da literatura | ρ_s máx da literatura |
|--------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|
| Ilita | 25,7% | 2,8 | 2,8 |
| Caulinita | 53,1% | 2,1 | 2,6 |
| Muscovita | 14,0% | 2,67 | 3,0 |
| Quartzo | 6,3% | 2,65 | 2,7 |
| Ilmenita | 0,9% | 4,7 | 4,7 |
| ρ_s média do solo | | 2,42 | 2,73 |
| ρ_s pentapicnometro | | 2,889 | |

Pode-se observar na Figura 4.69, que a massa específica varia ao longo da proveta e, em comparação com os valores médios apresentados nas Tabelas 4.8 e 4.9, alguns deles se situam

fora do intervalo compreendido entre o máximo mínimo estimado com base na mineralogia.

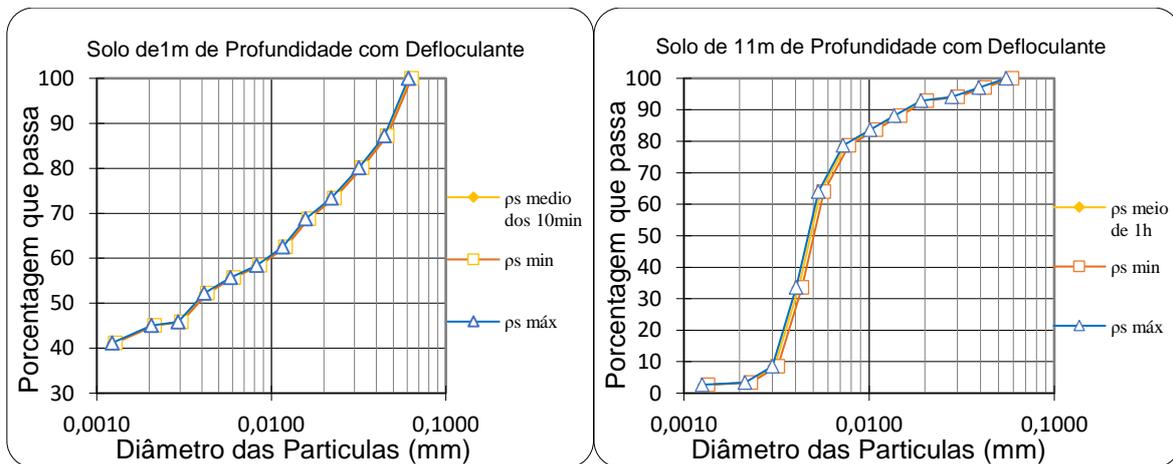


(a)

Figura 4.69. Variação da ρ_s ao longo da proveta para o solo de 1 m e 11 m de profundidade, após 10min e 1h de sedimentação respectivamente

Tomando o valor mínimo e máximo de cada uma das curvas anteriores, mostradas na Figura 4.69, foram traçadas as curvas granulométricas oriundas apenas da sedimentação para compará-las com a curva resultante do uso do valor médio de densidade. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4.70.

Constata-se nessas Figuras que a variação gerada pelos valores mínimos e máximos de ρ_s para esses tempos em relação ao valor médio de ρ_s geralmente adotada, é suficientemente pequena não comprometendo assim o uso do valor médio da densidade dos grãos, no ensaio de sedimentação.



(a)

(b)

Figura 4.70. Distribuição granulométrica: (a) solo coletado a 1 m de profundidade com o valor de ρ_s médio, máximo e mínimo, obtidos para um tempo de sedimentação de 10min e (b) para o solo coletado a 11 m de profundidade com o valor de ρ_s médio, máximo e mínimo, para um tempo de sedimentação de 1h

Apesar dessa constatação em relação aos valores de densidade real obtidas experimentalmente, optou-se por avaliar ainda o que ocorreria com as curvas se o material fosse composto apenas pelos minerais mais e menos densos presentes nos solos coletado a 1 m e a 11 m de profundidade.

A Figura 4.71 mostra que ao se trabalhar com os minerais mais e menos densos indicados nas Tabelas 4.8 e 4.9, passam a ocorrer importantes diferenças nas curvas granulométricas indicando assim a necessidade de maiores reflexões sobre os resultados dos ensaios de granulometria por sedimentação. É evidente que no solo não ocorreria a variação da curva como um todo, mas poderiam ocorrer variações ao longo da curva compreendidas entre as duas curvas extremas mostradas na Figura 4.71.

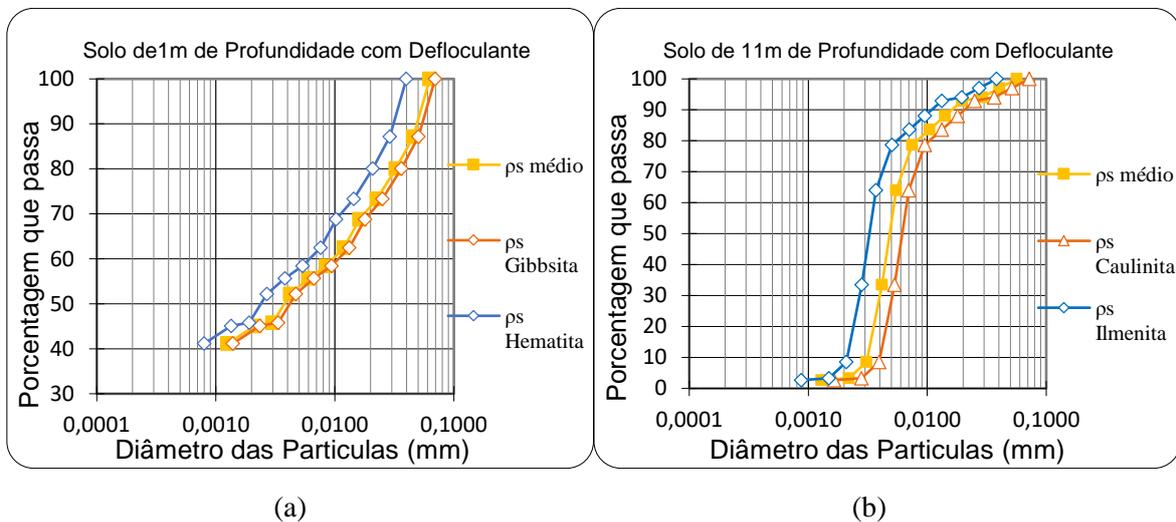


Figura 4.71. Distribuição granulométrica: (a) solo coletado a 1 m de profundidade com os valores de ρ_s da Tabela 4.6.1 e (b) para o solo coletado a 11 m de profundidade com os valores de ρ_s da Tabela 4.6.2.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

6.1. CONCLUSÕES

Das análises granulométricas feitas nos aditivos químicos, mostrou-se que a maior parte deles não apresentam uma completa dissolução de suas partículas em contato com a água, mas tendo em conta que para os diferentes ensaios desenvolvidos a quantidade máxima de insumo utilizada foi 10 g, ao contrário das 100g utilizadas na análise do insumo puro, se considera que a influência nos resultados de granulometria destas partículas não dissolvidas é muito pequena ou insignificante.

Os resultados obtidos dos diferentes ensaios, mostram que a reação dos solos que integram o perfil de intemperismo, aos agentes químicos mais usados na agricultura, realmente gera alterações nas suas propriedades físicas e químicas. Estas alterações vão depender do grau de intemperização (alterações químico-mineralógicas) que aquele solo já sofreu e do tipo de produto químico utilizado.

Se evidenciou que maior o teor de aditivo químico, maiores eram as variações nas propriedades físicas do solo, mostrando com isto que a acumulação que se dá com o tempo destes produtos químicos ao longo do perfil de intemperismo com o uso agrícola continuado do solo, vai gerar maiores mudanças na estrutura do solo.

Os resultados dos ensaios de granulometria analisados em conjunto com as imagens de cada uma das misturas obtidas com lupa, foram importantes para conhecer se geravam alterações texturais e nas estruturas dos agregados e/ou floculações e/ou pacotes de argila presentes nos solos. Se evidenciou que os aditivos químicos geram principalmente, desagregação das partículas do solo até a profundidade de 9 m, efeito que vai incrementando, mesmo que seja pouco, com o tempo de exposição. Verificou-se ainda a ação defloculante dos aditivos sobre o solo pouco intemperizado coletado a 11 m de profundidade.

Dos resultados de granulometria obtidos para a profundidade de 1 m e 24h de exposição, quem gerou a maior e menor desagregação no solo foram respectivamente o Cloreto de Potássio e os Calcários Dolomítico e Calcítico. Com o passar do tempo (7 dias), foi a Ureia quem gerou a maior separação de partículas seguida pelo composto SUC. Para a profundidade de 5 m não se apresentaram mudanças significativas com o tempo de exposição, assim, a Ureia foi quem gerou a maior desagregação na granulometria do solo seguida pelos compostos SUC e SUC mais Calcário Calcítico. Nesta profundidade se apresentou união de partículas com diâmetros

inferiores a 0,01 mm sendo os Calcários Dolomítico e Calcítico os que maior agregação geraram e o Cloreto de Potássio aquele que menor agregação gerou. Para a profundidade de 9 m e 24h de exposição, o Cloreto de potássio e os compostos SUC e SUC mais Calcário Dolomítico geraram a maior desagregação no solo, a qual incrementou com os 7 dias de exposição. Nesta profundidade foi a Ureia quem menor efeito gerou na granulometria do solo natural. Para a profundidade de 11 m o Super Simples foi quem gerou a maior separação de partículas e não se apresentaram variações significativas aos 7 dias de exposição. Finalmente, nos resultados obtidos para 15 dias de exposição, foi a Ureia mais Calcário Calcítico quem gerou a maior desagregação no solo a exceção da profundidade 5 m, para a qual não se apresentaram diferenças significativas entre as diferentes misturas e tempos de contato solo-fertilizante. O composto SUC mais Calcário Calcítico gerou pequenas agregações para alguns tamanhos de partículas, a exceção da profundidade 9m.

As variações na granulometria foram também observadas nas imagens obtidas com a lupa, onde se apresentaram alterações na textura do solo, como por exemplo, a formação de grumos devido à desagregação de partículas menores que permitiam a união dos grãos maiores e o incremento de umidade na superfície do solo devido às reações químicas.

Os resultados obtidos nos ensaios de pH, corresponderam com aqueles obtidos da análise granulométrica. A título de exemplo, as curvas de perfil correspondentes à mistura com o Super Simples, o Cloreto de Potássio e o composto SUC, foram as que ficaram, tanto para as 24h quanto para os 7 dias de exposição, mais próximas da curva do PCZ, indicando uma maior facilidade para se desagregar e precisamente estes fertilizantes, foram os que geraram as maiores variações na granulometria. Cabe destacar, que por ser um ensaio rápido em relação ao ensaio de granulometria, é ideal para análises que precisem ser feitas com urgência. Não se pode, no entanto, concluir ou definir o comportamento do solo baseado só nesse ensaio, porque como se sabe, todos os solos apresentam comportamentos particulares que podem variar de um ponto a outro e a definição correta de seu comportamento depende do desenvolvimento de diferentes estudos.

Dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, se observou que todas as misturas apresentaram valores inferiores com relação ao solo natural, sugerindo uma perda de resistência no solo para um mesmo teor de umidade. As misturas com o Cloreto de Potássio e o Super Simples, foram as que apresentaram os valores menores, ao contrário, as misturas com os Calcários Dolomítico e Calcítico, foram as que ficaram mais próximas aos valores

correspondentes ao solo natural.

Em geral, dos ensaios de caracterização se conclui que os fertilizantes avaliados, geram mudanças nas propriedades físicas dos solos, as quais variam segundo a mineralogia presente em cada profundidade, e segundo o tipo e quantidade de fertilizante. Os aditivos químicos puros Cloreto de Potássio e Super Simples, foram os que geraram as maiores alterações nestas propriedades, ao contrário, os Calcários Dolomítico e Calcítico geraram comportamentos muito similares ao do solo natural. Com o incremento do teor de aditivo utilizado, maior foi o efeito nos resultados dos diferentes ensaios. Destaca-se que o solo proveniente da profundidade de 9 m, devido a suas características químico-mineralógicas, foi a mais susceptível à mistura com os diferentes insumos agrícolas. Finalmente, salienta-se que mesmo incrementando a desagregação com o tempo de exposição, este incremento não foi muito relevante.

Os resultados da influência da densidade dos grãos no ensaio de sedimentação, mostraram que efetivamente a massa específica varia com o tempo de sedimentação, e apontam como satisfatório, o modo como se determina a curva granulométrica usando-se o valor médio da densidade real dos grãos. Somente no caso de um material composto principalmente por minerais muito e pouco densos, ou seja, com densidades extremas, vão ocorrer importantes diferenças nas curvas granulométricas, indicando assim, a necessidade de maiores reflexões sobre os resultados dos ensaios de granulometria por sedimentação.

6.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Tendo em conta que nesta pesquisa foram feitos ensaios para a caracterização das misturas, se sugere para pesquisas futuras o desenvolvimento de ensaios que forneçam resultados acerca do comportamento hidromecânico do solo, tais como:

- Cisalhamento direto e compressão simples para obter parâmetros de resistência.
- Permeabilidade para avaliar o comportamento hidráulico.
- O ensaio de difusão pura/lixiviação, para saber quanto do aditivo químico fica retido no solo uma vez que a mistura solo-insumo se submete ao fluxo de água ao longo do tempo.
- Fazer microscopia para avaliar alterações da estrutura de solos submetidos ao fluxo d'água contendo insumos agrícolas solubilizados.

Adicionalmente, determinar se estes produtos químicos influenciam tanto na densidade como na viscosidade da água; realizar as análises químicas das diferentes misturas para conhecer as

mudanças apresentas na composição química do solo e determinar as curvas características dos aditivos químicos e dos solos para conhecer se os grumos que se apresentaram nas imagens obtidas com a lupa, se formaram pela sucção/coesão entre os insumos e o solo ou se efetivamente foi produto da união de partículas menores oriundas da desagregação.

Para ter avaliações mais acuradas sobre a real influência de trabalhar com o valor médio de ρ_s nas análises das curvas granulométricas obtidas por sedimentação, será relevante avaliar resultados com outros tempos de sedimentação, outros tipos de solo e fazer DRX para cada uma das amostras coletadas ao longo da proveta de modo a se averiguar a repetibilidade da diversidade de composição mineralógica. Com isto também se ampliaria o entendimento dos ensaios de sedimentação e se seria necessário introduzir alterações no procedimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, (2016). Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação de massa específica de sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6508, 8 p.
- ABNT, (2016). Solo – Análise Granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7181, 13 p.
- ABNT, (2016). Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6459, 5 p.
- ABNT, (2016). Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7180, 3 p.
- AZEVEDO, A.C. de & BONUMÁ, A.S. (2004). Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. *Ciência Rural*, 34(2): 609–617 p.
- BESOAIN, E., BORIE, F., CARRASCO, A., ESCUDEY, M. & GALINDO, G. (1985). Suelos volcánicos de Chile. Tosso, J. (Org.), Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Santiago de Chile, pp. 327–330 p.
- BRASIL CAVALCANTE, A.L. (2015). Aula 1 - introdução aos contaminantes inorgânicos e orgânicos.
- BUDHU, M. (2000). *Soil Mechanics and Foundations*. John Wiley & Sons., Arizona.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2010). Solo como material de construção. IBRACON - Materiais de Construção Civil. 2ª Edição. 1: 527-563 p
- CAMAPUM DE CARVALHO, J., GITIRANA, G. DE F.N., MACHADO, S.L., MASCARENHA, M.M. dos A. & CHAGAS, F. da S. (2015). Solos não saturados no contexto geotécnico 805 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J., GITIRANA JR, G.F.N. & LEÃO CARVALHO, E.T. (2012). Tópicos Sobre Infiltração: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais. Tópicos sobre Infiltração Teor. e práctica Apl. a solos Tropicais.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J., GUIMARÃES R. C., SIDDIQUA, S., BIGDELI A. & MUNIZ, P. (2017). Relação entre a Plasticidade do Solo e o Ponto de Entrada de Ar na Curva Característica de Retenção de água. Anais do Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro Oeste, Geocentro, Goiânia. 734-739 p
- CAMPILLO, R. & SADZAWKA, A. (2006). Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. programa de recuperación de suelos degradados. Ser. Actas.
- CARVAJAL, H.E.; Camapum de Carvalho, J.; Fernandes, G. (2005). Influência da desagregação nos limites de Atterberg. II Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, Goiânia. 217-225 p.
- CELIK, I., GUNAL, H., BUDAK, M. & AKPINAR, C. (2010). Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160(2): 236–243 p.
- CHAHAL, N., RAJOR, A. & SIDDIQUE, R. (2011). Calcium carbonate precipitation by different bacterial strains. *African J. Biotechnol.*, 10(42): 8359–8372.
- CONCIANI, W., BURGOS, P.C. & BEZERRA, R.L. (2015). Origem e formação dos solos, perfis de intemperismo. Livro: Solos não saturados no contexto geotécnico. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo.

- DAS, B.M. (2001). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Appl. Mech. Rev., 3^o edn.
- DELGADO, A.K.C. (2002). *Influência Da Sucção No Comportamento De Um Perfil De Solo Tropical Compactado*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília DF. 211 p.
- ESPINOZA, L., SLATON, N. & MOZAFFARI, M. (2000). Como interpretar los resultados de los análisis de suelos. *Div. Agric. Res. Ext.*, : 2.
- EZEOKONKWO, J.C. (2011). Engineering properties of npk fertilizer modified soil. *J. Emerg. Trends Eng. Appl. Sci.*, 2(6): 962–966 p.
- FERNÁNDEZ-D'ARLAS, B. (2016). Series liotrópicas en la química macromolecular. *An. la Química*, 112(2): 79–94 p.
- FERTI YESO. (1994). Problemas de suelo limitantes para el adecuado desarrollo de las plantas : conceptualización.
- FONTES, M.P., CAMARGO, O.A., SPOSITO, G. & ET, A. (2001). Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados : 20 p.
- GARRIDO VALERO, M.S. (1993). Interpretación de análisis de suelo. *Hojas Divulg. Minist. Agric. Pesca y Aliment.*, 5: 1–40 p.
- GOH, T.B., DUDAS, M.J., PAWLUK, S. & HARAPIAK, J.T. (1987). Physical , chemical and micromorphological effects of nitrogen fertilizers on chernozemic soils 40: 177–192 p.
- GONZALES, Y. (2009). *Influência da biomineralização nas propriedades físico - mecânicas de um perfil de solo tropical afetado por processos erosivos*. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília, Brasília DF. 208 p.
- GRIM, R. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. McGRAW-HILL Book Company, Inc, Illinois.
- GUIMARÃES, R.C. (2002). *Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas*. Dissertação de mestrado, publicação g.dm-090a/02, Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, df, 180p : 60–61 p.
- HANNAH, S., MURRAY, M. & ELLEN, H. (2009). Sources and impacts of contaminants in soils. *Soil Sci.*,
- International Plant Nutrition Institute IPNI. (2017). Fertilizantes. URL <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#aparente>
- JARAMILLO, D. (2000). Introducción a la ciencia del suelo. *Soil Science*, 321–328 p.
- JIANG-TAO, L.I. & BIN, Z. (2007). Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical china 17(40371059): 568–579.
- KIST STEFFEN, G.P., STEFFEN, R.B. & ANTONIOLLI, Z.I. (2011). Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. *TECNO-LÓGICA*, : 15–21 p.
- LUCENA. (2012). *Estudo da aplicação da mistura solo-lodo em base e subbase de pavimentos*. Tese de doutorado, UFPE, Recife, PE, 263 p.
- MELLO, F. DE A.; BRASIL SOBRINHO, M. DE O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. (1983). *Fertilidade do solo*. São Paulo: Nobel. 400 p
- MURPHY, B.W. (2014). Soil organic matter and soil function – review of the literature and underlying data (May): 155 p.
- OIKOSUSA. (2000). *La historia de la agricultura química y sus consecuencias*.

- PASTORE, E.L., FONTES R.M. (1998). Geologia de Engenharia. Caracterização e Classificação de Solos Cap 12. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia ABGE, São Paulo, p 197-210
- PERES, F., COSTA MOREIRA, J., ALVES SILVA, A., MANNA BELLASALMA, A.C., HATAGIMA, A., MEYER, A., NÓBREGA, A.W. & ROZEMBERG, B. (2003). *É Veneno Ou É Remédio ?* Rio de Janeiro.
- PÉREZ GARCÍA, L., SAM PALANCO, C., RODRÍGUEZ FERRER, A. & GARCELL PUYÁNS, L. (2007). Adsorción de iones en suspensiones acuosas de laterita. *Tecnol. Química*, XXVII: 30–38 p.
- Quantachrome Instrument (2017). URL <http://www.quantachrome.com/technologies/density.html>
- RODRIGUES, S.M. (2017) Caracterização mineralógica e microestrutural de um perfil intemperizado de Brasília. Anápolis: UEG, Monografia de conclusão do Curso de Engenharia Civil. 133 p.
- ROJAS, C. (1999). Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile. *Inia*.
- RONQUIM, C.C. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais. *Bol. Pesqui. e Desenvolvimento. EMBRAPA.*, 8: 27 p.
- ROSENO, J.L.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2007). Avaliação granulométrica de um perfil de solo tropical usando o granulômetro a laser. *III Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, Cuiabá*. pp. 136-147 p.
- RUDIO, F.V. (1990). Introdução ao projeto de pesquisa científica. 25. ed. Petrópolis: Vozes.
- SADEGHIAN, S. (2003). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé*, 54(3): 242–257 p.
- SANTAELLA, G. & GONZÁLES, A. (1965). Influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de villa-rica (cauca). *Acta Agronómica*, 15(1–4): 33–59 p.
- SIERRA, C. (2017). El manganeso el suelo y las plantas. URL <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/09/el-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- SKEMPTON, A.W. (1953). The colloidal "activity" of clay. *Proc. Third Intern. Conf. Soil Mech*, I, 57-61 p.
- WHITE, W.A. (1955). Water sorption Properties of Homoionic Clay Minerals. Ph.D. thesis, University of Illinois.

APÊNDICE A – FIGURAS COMPARATIVAS DAS IMAGENS OBTIDAS COM A LUPA ELETRÔNICA

Neste apêndice são apresentadas as imagens das diferentes misturas obtidas com a lupa eletrônica para os tempos de exposição adotados. O objetivo desse apêndice é facilitar ao leitor a visualização das alterações apresentadas na textura do solo com ao longo do tempo.

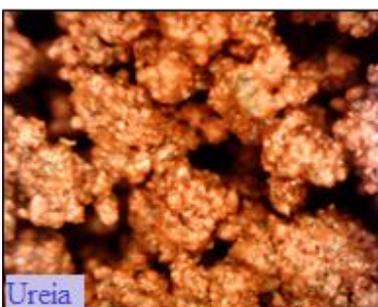
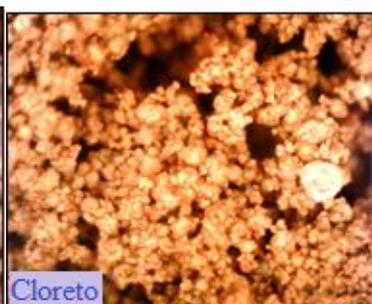
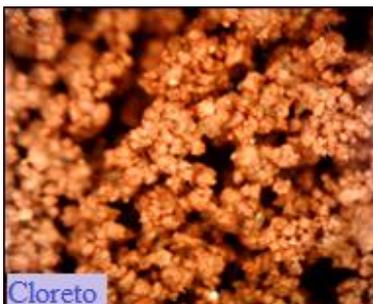
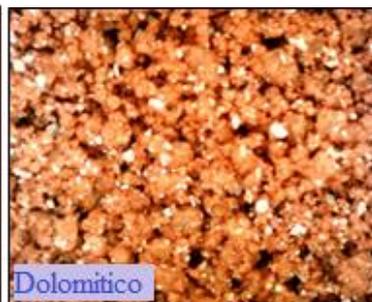
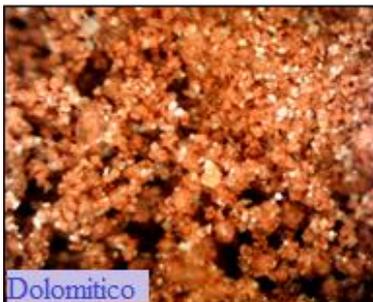
Profundidade 1 m:



24 horas

7 dias

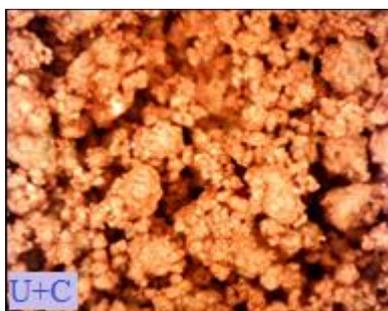
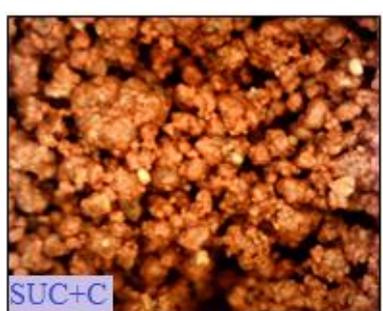
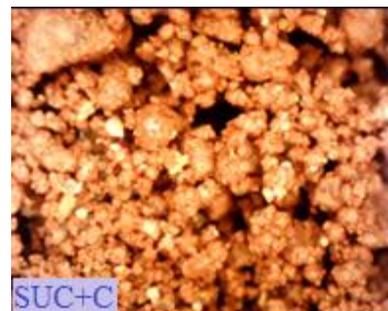
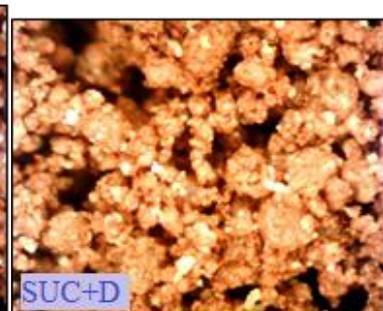
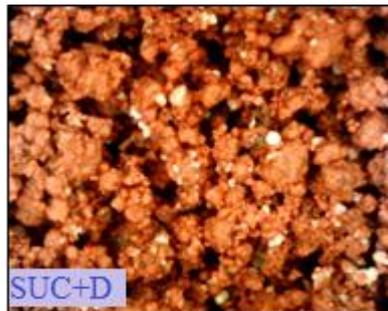
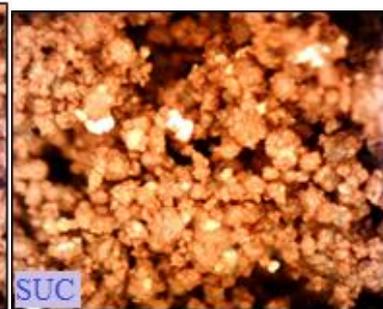
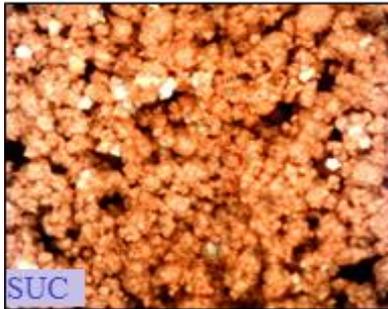
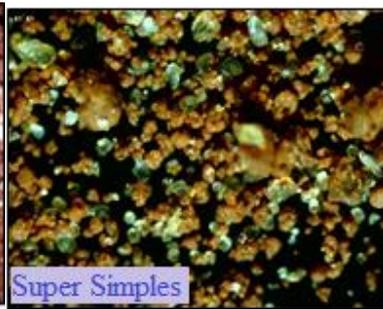
15 dias



24 horas

7 dias

15 dias



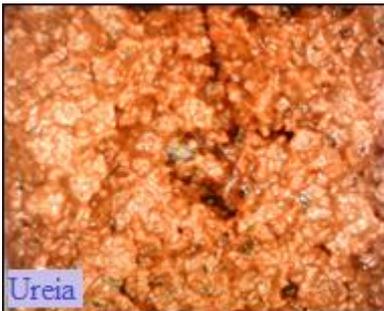
Profundidade 5 m:



24 horas

7 dias

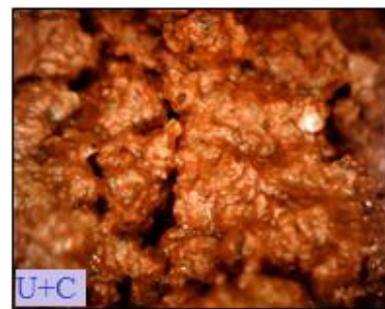
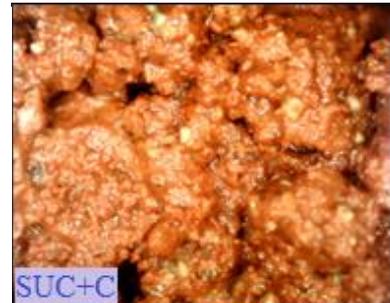
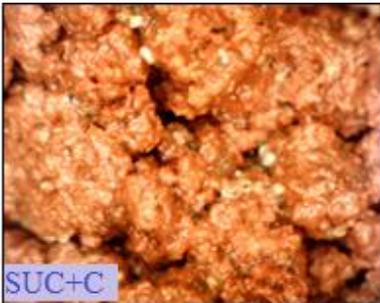
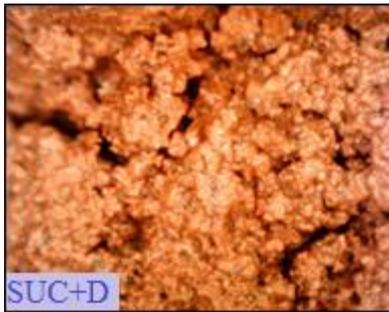
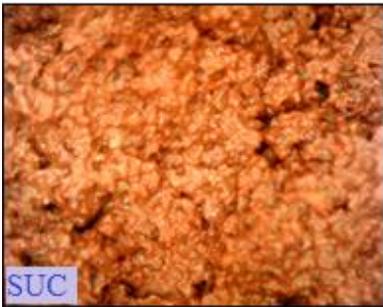
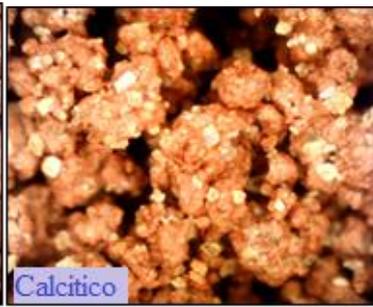
15 dias



24 horas

7 dias

15 dias



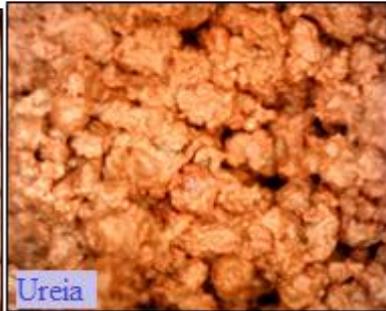
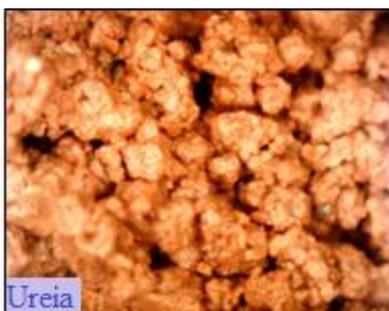
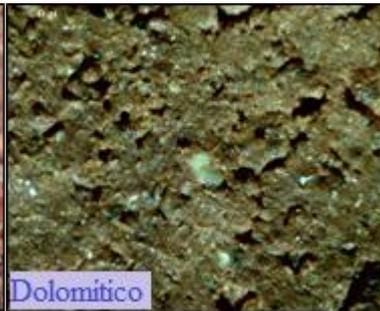
Profundidade 9 m:



24 horas

7 dias

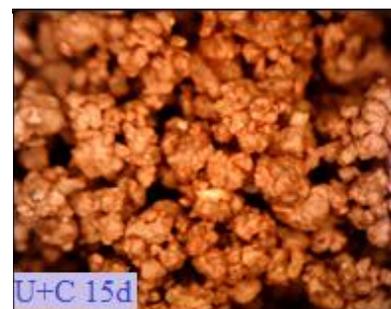
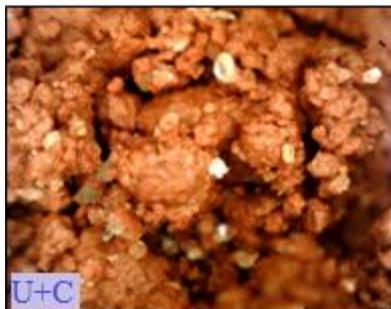
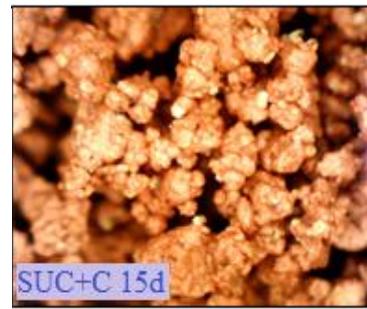
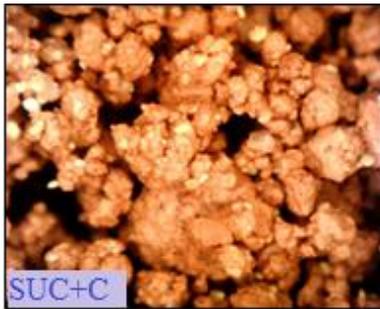
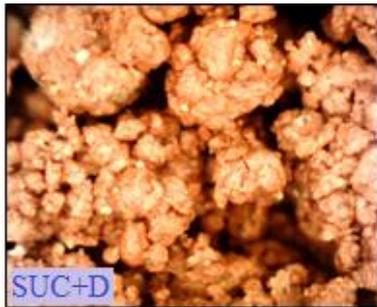
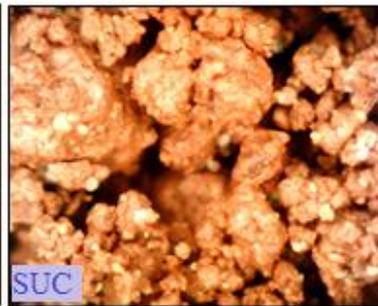
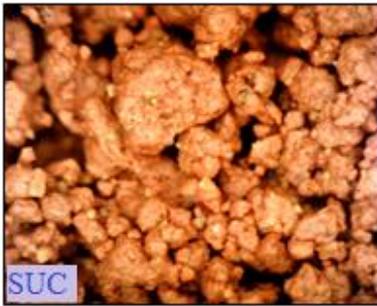
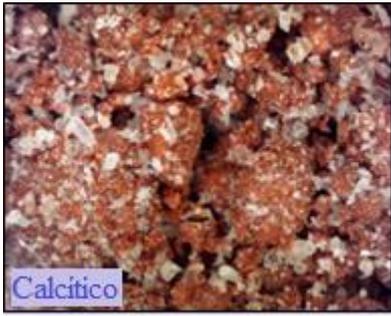
15 dias



24 horas

7 dias

15 dias



Profundidade 11 m:



24 horas

7 dias

15 dias



24 horas

7 dias

15 dias

