

MARIA ALCIRLÂNDIA DA SILVA BEZERRA

The coat of arms of the State of Acre is centered on the page. It features a yellow crown with three towers at the top. Below the crown is a shield divided into four quadrants. The top-left quadrant is blue with a yellow letter 'U', the top-right is white with a yellow letter 'F', the bottom-left is white with a yellow letter 'A', and the bottom-right is blue with a yellow letter 'C'. The shield is flanked by two silver chains. At the bottom center of the shield is a red five-pointed star.

**DISPERSANTES PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS
DO ACRE**

RIO BRANCO - AC

2020

MARIA ALCIRLÂNDIA DA SILVA BEZERRA

**DISPERSANTES PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS
DO ACRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt.

RIO BRANCO - AC

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- B574d Bezerra, Maria Alcirlândia da Silva, 1986-
Dispersantes para análise granulométrica dos solos do Acre / Maria Alcirlândia da Silva Bezerra; Orientador: Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt. - 2020.
39 f.: il.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós – Graduação em Produção Vegetal, Mestre em Produção Vegetal, Rio Branco, 2020.
Inclui referências bibliográficas.
1. Argilominerais. 2. Esmectitas. 3. Vermiculitas. I. Wadt, Paulo Guilherme Salvador. (Orientador). II. Título.

CDD: 338.1

MARIA ALCIRLÂNDIA DA SILVA BEZERRA

**DISPERSANTES PARA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS
DO ACRE**

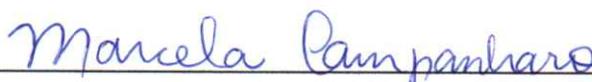
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 15 de maio de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
(Orientador)



Dra. Marcela Campanharo
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
(Membro)



Dr. Alaerto Luiz Marcolan
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (Membro)

Aos meus pais
Maria do Livramento da Silva Bezerra e
Alcimar Alves Bezerra, meus irmãos,
sobrinhas, vó (*in memoriam*), namorado e
amigos, pelo carinho, amor, dedicação,
incentivo e apoio incondicional.

DEDICO

Meu maior desafio é me amar como Deus me ama.
Filha da Maria e do Alcimar.
“Faço de mim casa de sentimentos bons, onde a má fé
não faz morada e a maldade não se cria. Cerco-me de
boas intenções e amigos de nobres corações, que
sopram e abrem portões. Chave que não se copia,
observo a mim mesmo em silêncio, porque é nele onde
mais e melhor se diz. Ensino-me a ser mais tolerante,
não julgar ninguém, e com isso ser mais feliz. Sendo
aquele que sempre traz amor, sendo aquele que sempre
traz sorrisos. E permanecendo tranquilo aonde for,
paciente, confiante, intuitivo...”.

Forfun

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento vai para meu GRANDIOSO e PODEROSO Deus, sem o qual, com toda certeza, eu não teria chegado aqui vitoriosa. Portanto, a única forma de agradecer a ELE é seguindo seus ensinamentos de ajudar ao próximo e mantendo-me fiel no seu projeto. Tu ÉS minha fortaleza sem o qual não consigo caminhar. Minha eterna gratidão a Ti, Pai Celeste!

Aos meus pais, Maria e Alcimar, que mesmo diante das inúmeras dificuldades buscaram oferecer as melhores condições de vida e ensino aos seus seis filhos. Hoje, mesmo sem demonstrar muito suas emoções, tenho certeza que eles são cheios de orgulho de todos nós, pelo fato de termos compreendido a mensagem passada por eles, de que a educação é o bem mais valioso na vida do ser humano.

Aos meus irmãos, Alzemar, Alziete (*in memoriam*), Alzilândia, Diétima, Bismarques e Uendel pela cumplicidade e companheirismo desde a infância.

Às minhas sobrinhas, Ihanna, Ruama, Maria Sophia e Louise, a quem tenho imenso amor e carinho.

À minha querida e amada avó Nilza (*in memoriam*), a quem escrevo essas palavras emocionada. Ela foi (e continua sendo em pensamentos e lembranças) minha melhor companhia. Minha maior diversão e alegria era ficar junto dela. Por isso e muito mais, meu maior desejo é encontrá-la e poder sentir seu cheiro (que ainda é tão “presente”) e carinho novamente. Seu abraço e beijo estarão sempre guardados em minha memória.

A todos os meus amigos aqui representados por Keila, Camila, Jéssica, Sandra, Kétila, Jennifer, Bárbara Lamare, Jardson, Oderlândio, Luan, Romário, Clemeson e Alan Souza (*in memoriam*) que me deram tanto incentivo no decorrer do mestrado e a todos os meus familiares que de forma muito carinhosa sempre acreditaram em mim, dedicando carinho, apoio e atenção nos momentos em que precisei, sou muito grata a todos vocês.

Ao meu amigo, namorado e parceiro de mestrado, Weidson Plauter Sutil, pelo carinho, amor, companheirismo, apoio e paciência durante toda a caminhada!

Aos meus queridos amigos e eternos pastores, Leonarda e Tiago Ericeira, ambos missionários da Comunidade Vida, da Comunidade Católica Shalom, pelo amor, carinho e orações de sempre.

Meus sinceros agradecimentos a todos os meus queridos e amigos

professores, aqui representados por Gisalda, Cleuva, Aparecida, Leonardo de Paula, Willian Ferreira, Elízio Frade e Sebastião Elviro, pessoas valiosíssimas e professores excelentes, por quem desenvolvi grande admiração e carinho durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Paulo Wadt pelo apoio em ingressar no mestrado, ao meu co-orientador Luciélío da Silva pelo acompanhamento e orientação durante todo o programa e ao Pedro Araújo, técnico do laboratório de Física do solo da Embrapa Acre, pelo convívio e respeito durante todo esse período, além, claro, da parceria durante a condução do trabalho fazendo com que chegássemos aqui exitosos.

À Universidade Federal do Acre, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a CAPES que contribuíram na realização desta.

À EMBRAPA-Acre pelo apoio logístico e infraestrutura na execução dessa pesquisa.

Enfim, obrigada a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento pessoal e profissional!

RESUMO

A análise granulométrica é uma análise básica e indispensável no processo de caracterização do solo tanto para fins taxonômicos quanto para o entendimento do comportamento e manejo do solo e é realizada em três etapas: Aplicação de pré-tratamentos (quando necessário), dispersão e quantificação das frações do solo. Para quantificar as frações do solo, especialmente, a fração argila e para obter confiabilidade nos resultados da análise granulométrica é necessário separá-las previamente e mantê-las em completa dispersão durante todo o processo. A maioria dos laboratórios do Brasil usam o NaOH e a agitação rotacional como dispersantes das partículas, porém, a dispersão da argila e manutenção dessa dispersão durante todo processo analítico é fortemente influenciada pelas características dos solos, podendo outros dispersantes serem mais eficientes. Com base nisso, objetivou-se avaliar a eficiência de três dispersantes químicos (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e a mistura dos dois) e dois dispersantes físicos (agitação rotacional e agitação orbital) na quantificação do teor de argila dos solos do estado do Acre. Para tanto, foram utilizadas seis diferentes classes de solos, representativos do estado (Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, Luvisolo Crômico e Vertissolo Háptico) e de cada um deles, dois horizontes (superficial e subsuperficial/diagnóstico). Houve diferença entre os dispersantes, sendo a combinação do hidróxido de sódio mais o hexametáfosfato de sódio, e o hidróxido de sódio combinados com a agitação rotacional, os que proporcionaram maior eficácia na dispersão da argila dos solos do estado do Acre, podendo ser recomendados como dispersantes para análise granulométrica dos solos do Estado. A matéria orgânica pode interferir de forma negativa na dispersão da argila.

Palavras-chave: Argilominerais. Esmectitas. Vermiculitas. Textura.

ABSTRACT

A granulometric analysis is a basic and indispensable analysis in the soil characterization process, both for taxonomic purposes and for understanding soil behavior and management, and it is performed in three stages: application of pre-test (when necessary), dispersion and quantification soil fractions. In order to quantify as fractions of soil, especially a fraction of clay, and to obtain results in the results of the granulometric analysis, it is necessary to separate the initial estimates and use the complete dispersion throughout the process. Most laboratories in Brazil use NaOH and rotary agitation as feather dispersants, however, a clay dispersion and maintenance of this dispersion throughout the analytical process is strongly influenced by the characteristics of the soils, other dispersants that are more efficient. Based on this, the objective is to evaluate the efficiency of three chemical dispersants (sodium hydroxide, sodium hexametaphosphate and the mixture of the two) and two physical dispersants (rotational agitation and orbital agitation) in the quantification of the clay content of the soils of the state of acre. For this purpose, six different classes of soil, representative of the state (Yellow Argisol, Red Argisol, Yellow Red Argisol, Yellow Latosis, Chromic Luvisol and Haplastic Vertisol) were used, and each of them, two horizontal (superficial and subsurface / model). There was a difference between the dispersants, being a combination of sodium hydroxide plus or sodium hexametaphosphate, and sodium hydroxide combined with rotary agitation, which provided a greater impact on the dispersion of clay from the soils of the state of Acre, being used as a dispersant for analysis particle size of the State's soils. An organic matter can interfere in the negative form in the clay dispersion.

Key-words: Clay minerals. Smectites. Vermiculites. Texture.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Perfis dos solos estudados. A: Argissolo Amarelo; B: Latossolo Amarelo; C: Argissolo Vermelho Amarelo; D: Argissolo Vermelho; E: Luvisolo (foto: Sérgio Shimizu); F: Vertissolo.22
- Figura 2 – Localização das classes de solos estudadas do estado do Acre.....24
- Figura 3 – Etapas da análise granulométrica. A: Amostras secas em estufa de ventilação forçada; B: Terra Fina Seca ao Ar; C: 20g de amostra de TFSA; D: 10 mL dispersante; E: Amostras em agitador de wagner; E: Amostras em agitador orbital.25
- Figura 4 – Lavagem da areia e coleta de silte e argila em proveta (A), coleta de areia em placa de petri (B) e Coleta da fração silte+argila (C).26
- Figura 5 – Verificação da temperatura da solução (A) e coleta da argila de acordo com o tempo decorrido calculado conforme Lei de Stokes (B).26
- Figura 6 – Frações secas em estufa a 105°C (A), separação da areia em grossa e fina (B), pesagem da areia grossa (C) e pesagem da argila (D).27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização química e física das amostras do horizonte superficial e subsuperficial dos solos estudados e descritos por Amaral et al., 2013...	23
Tabela 2 - Localização, caracterização e horizonte de coleta das classes de solos estudadas do estado do Acre.	27
Tabela 3 - Tempo de decantação do silte e sedimentação da argila ajustada para a temperatura do laboratório conforme a Lei de Stokes.....	27
Tabela 4 - Caracterização química das amostras do horizonte superficial e subsuperficial dos solos estudados.....	29
Tabela 5 - Teores de argila obtidos pelos dispersantes (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e mistura) e pelos agitadores (wagner e orbital)..	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	15
2.2 DISPERSANTES FÍSICOS	19
2.3 DISPERSANTES QUÍMICOS.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O solo é considerado o substrato natural para o estabelecimento de espécies vegetais, por ser suporte físico e prover nutrientes, água e oxigênio de forma que seu manejo adequado pode ser um determinante na produtividade das plantas cultivadas (VENTURA et al., 2016).

No Estado do Acre, nos solos formados sobre a formação geológica Solimões, que recobre quase a totalidade do território acreano a composição mineralógica das principais classes de solos do estado é de minerais secundários com alta atividade de argila, como esmectitas ou vermiculitas em decorrência de deposição de materiais de origem vulcânica provenientes do soerguimento dos Andes (GAMA, 1986). A presença destes minerais pode alterar o comportamento físico e químico desses solos, inclusive afetar a exatidão dos métodos de determinação de suas classes texturais.

A determinação das classes texturais de um solo é feito por meio da análise granulométrica, que permite determinar a proporção das diferentes frações minerais do solo em função do tamanho de suas partículas. A análise granulométrica constitui-se um indicador importante para orientar práticas de uso e manejo do solo, bem como influencia em outras propriedades do solo, como na retenção de água, troca gasosa e catiônica e processos de fixação de fósforo (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2017).

Além disso, é utilizada em levantamentos pedológicos para a descrição dos horizontes diagnósticos, na classificação dos solos, no planejamento de práticas conservacionistas para o controle da erosão (MAURI et al., 2011) e na definição do tipo de solo em portarias normativas do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que adotam a Instrução Normativa nº 2 de 9 de outubro de 2008 da Secretaria de Política Agrícola do MAPA, com o intuito de simplificar a tipificação dos solos, visando seu enquadramento nas categorias do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, nos processos de concessão de crédito de fomento agrícola (SILVA et al., 2014).

A maioria dos laboratórios de pesquisa do país realiza a análise granulométrica pelo método da pipeta ou do densímetro, usando o hidróxido de sódio como dispersante (DONAGEMMA et al., 2017). Mas, independente do método adotado (considerando os métodos convencionais), o procedimento analítico consiste na ruptura dos agregados do solo e na individualização das partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica (lenta ou rápida) e química (com uso de dispersantes químicos). Isso visa a completa dispersão do solo, a partir da formação de uma suspensão estável durante

toda a fase de dispersão (DONAGEMMA et al., 2017), condição indispensável para a exatidão da análise granulométrica (BATISTA et al., 2015).

No entanto, problemas metodológicos, dentre eles a dificuldade de dispersão e da manutenção da estabilidade da fase dispersa, têm sido relatados em alguns solos do País (CORÁ et al., 2009), principalmente em função de o método tradicional ter sido originalmente desenvolvido para países com solos de características e ambientes de formação diferentes das encontradas nos solos do Brasil (DONAGEMMA, 2003; VIANA et al., 2019), uma vez que a escolha do dispersante depende da presença de cátions no complexo de troca e da relação entre cargas permanentes e cargas dependentes de pH na fração argila (MAURI et al., 2011).

Diante disso, nos anos de 2010 e 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) demandou da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) ações para definir, a nível nacional, a padronização da metodologia de análise granulométrica, pois laboratórios especializados vinham gerando laudos técnicos com resultados discrepantes em função da grande variabilidade nos procedimentos adotados (SILVA; WADT, 2018). A partir dessa demanda foi produzido o comunicado técnico “Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil” (ALMEIDA et al., 2012). Dentre as recomendações contidas no comunicado destaca-se a aplicação dos testes laboratoriais para avaliar a eficácia de dispersantes químicos nos solos das diferentes regiões do país.

Diante desse contexto, considerando as diferenças químicas de muitos solos acreanos em relação a solos de mesmas classes em outras regiões do país, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de três dispersantes químicos e dois físicos para análise granulométrica dos solos representativos do Estado do Acre.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os solos são resultantes do intemperismo químico, físico e biológico sobre um material de origem ao longo do tempo por meio do relevo, clima e da atuação dos organismos. Esse material resultante, ao qual denominamos solo é uma mistura de materiais orgânicos vivos e mortos, em uma matriz tridimensional formada principalmente por minerais de tamanhos variados, contendo espaços porosos com retenção de água, nutrientes e ar (VALMIQUI et al., 2007). Entre as diversas propriedades do solo, a distribuição quantitativa de seus constituintes da fase mineral (partículas de areia, silte e argila) está entre aquelas mais relevantes para seu uso e manejo agrícola (TEIXEIRA et al., 2017).

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O solo é constituído de fase sólida (minerais e matéria orgânica), líquida (solução do solo) e gasosa (ar), ocupando a maior parte do manto superficial continental do planeta (BATISTA et al., 2014). Ele é uma formação natural, resultante da desagregação de rochas a partir de processos físicos, químicos e biológicos pela ação do intemperismo (SODRÉ; LENZI, 2001; SILVA et al., 2019).

Na perspectiva tridimensional, o solo é constituído pelo arranjo de constituintes inorgânicos (partículas minerais de diferentes tamanhos), em mistura com constituintes orgânicos (substâncias orgânicas de organismos vivos e produtos de sua decomposição), cujo arranjo desses constituintes resulta em poros preenchidos por diferentes proporções de ar e água (SODRÉ, 2012).

Os constituintes inorgânicos e orgânicos formam a fase sólida, cujas partículas que a compõe variam em tamanho, forma e composição química e os seus arranjos na formação dos solos interfere diretamente na porosidade. A textura e estrutura do solo, definidas pela distribuição de tamanho das partículas e pelo arranjo das mesmas, respectivamente, estão entre as propriedades físicas mais importantes do solo (STEFANOSKI et al., 2013). A análise granulométrica é uma análise de rotina em laboratórios de Física do Solo, utilizada para determinar a quantidade das partículas sólidas do solo. Essa constitui uma técnica essencial para a caracterização e o estudo de solos, com diversas aplicações práticas na agricultura (BARRETO et al., 2019).

Ao analisar um solo, a textura de cada horizonte pedogenético é, frequentemente, a primeira e mais importante característica a ser analisada, pois

não está sujeita a alterações. Solos com boa condição física apresentam algumas propriedades estruturais como, são estáveis em água, apresentam boa distribuição de tamanho de poros, permitindo ao solo absorver, armazenar e liberar água para ser usada pelas plantas (CZYŻ; DEXTER, 2015). Assim, a maior parte das reações responsáveis pelas propriedades do solo, com ou sem interação da matéria orgânica, ocorre nas superfícies dos minerais de argila, como os óxidos de ferro e alumínio, caulinitas e minerais com argilas de alta atividade (VIANA et al., 2019), os quais são organizados em arranjos denominados de agregados do solo.

Os agregados do solo possuem estabilidade estrutural e conformacional dependente de vários fatores, como a própria constituição da fase sólida (constituintes orgânicos e inorgânicos), da distribuição do tamanho de suas partículas (textura do solo) e dos íons presentes em suas superfícies de troca catiônica (hidrogênio, alumínio, cálcio, magnésio e potássio). Desse modo, para uma adequada análise granulométrica é importante que os agregados sejam desfeitos, por meio de força física (agitação mecânica, por exemplo) ou força química (uso de dispersantes químicos).

A separação eficiente dos agregados do solo depende principalmente dos dispersantes químicos a serem utilizados, da sua eficiência e da relação entre os íons presentes nas soluções dispersantes e as cargas permanentes e dependentes do pH na fração argila. Sendo necessário substituir cátions floculantes como Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , que comumente saturam as argilas, por cátions monovalentes de maior raio iônico hidratado, como por exemplo, Li^{+} e Na^{+} , para obtenção de uma suspensão do solo efetivamente dispersa (MARTINEZ et al., 2015).

A textura do solo é característica intrínseca do próprio material, a qual é definida a partir da análise granulométrica, ou seja, pelo estudo do tamanho das partículas que compõem o solo, distribuindo-se em diversas frações, conforme seu tamanho (PEREIRA; VIANA, 2015; ABNT, 2016). E, a distribuição das frações no solo influencia diretamente na retenção de água, na aeração e nas práticas de manejo, além de permitir conhecer a resistência e coesão das partículas. Essas partículas são denominadas de fração areia, a qual corresponde ao diâmetro entre 2,0 e 0,05 mm, fração silte, com diâmetro entre 0,05 e 0,002 mm, e fração argila com diâmetro menor que 0,002 mm (CUNHA et al., 2014b).

Conforme varia a distribuição das partículas entre as diferentes classes de diâmetro, variam diretamente a capacidade de retenção de água e de nutrientes do

solo, as forças de adesão e coesão entre as partículas, as quais afetam algumas de suas funções, como por exemplo, sua capacidade de drenagem e sua suscetibilidade à erosão. Deste modo, a análise granulométrica é uma prática necessária nas determinações físicas do solo (MARTINEZ et al., 2015).

Assim sendo, as classes texturais dos solos tem sido utilizadas na definição do tipo de solo em portarias normativas do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que adotam a Instrução Normativa nº 2 de 9 de outubro de 2008 da Secretaria de Política Agrícola do MAPA, com o intuito de simplificar a tipificação dos solos, visando seu enquadramento nas diferentes categorias do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, nos processos de concessão de crédito de fomento agrícola (SILVA et al., 2014).

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático tem como objetivo reduzir os riscos relacionados aos problemas climáticos e permite ao produtor identificar a melhor época para plantio, levando em consideração a região do país, a cultura e seu ciclo, e os diferentes tipos de solos, de tal forma a evitar que adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis das culturas, minimizando as perdas agrícolas. Esse sistema leva em conta a textura dos solos, dividindo-os em três grupos: SOLOS TIPO 1: solos de textura arenosa, com teor mínimo de 10% de argila e menor ou igual a 15%; SOLOS TIPO 2: Solos de textura média, com teor mínimo de 15% de argila e menor que 35%; e SOLOS TIPO 3: solos de textura argilosa, com teor de argila maior ou igual a 35%. O sistema proíbe plantio de qualquer cultura em solos com teor inferior a 10% nos primeiros 50 cm de solo.

A qualidade da análise granulométrica é imprescindível para a adequada classificação textural dos solos e enquadramento no Zoneamento Agroclimático (KLEIN et al., 2013). No Brasil, os laboratórios de solos usam principalmente os métodos do densímetro e da pipeta para determinar a textura dos solos (RODRIGUES, 2011; TEIXEIRA et al., 2017). Esses dois métodos baseiam-se na estimativa do tempo de sedimentação de partículas em um meio líquido, de acordo com os princípios físicos da Lei de Stokes. Os procedimentos consistem em estimar a velocidade que as partículas em suspensão sedimentam em determinada temperatura, fixando-se um tempo após a adição de um dispersante químico e posteriormente a coleta da amostra pode ser realizada em determinada profundidade (TEIXEIRA et al., 2017). Desta forma, o material que permanece na suspensão aquosa acima do ponto de coleta da amostra pode ser quantificado, por

sua vez, as frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação. O pH tem grande importância na dispersão das argilas, pois quando se encontra acima do estabelecido para o ponto de carga zero (PCZ) a dispersão ocorre mais facilmente pelo aumento da CTC e da repulsão entre partículas (CUNHA et al., 2014).

A determinação da granulometria do solo envolve três etapas: Aplicação de pré-tratamentos, dispersão e quantificação das frações (RUIZ, 2005). A primeira etapa consiste na remoção de agentes cimentantes orgânicos, como matéria orgânica, e inorgânicos, como óxidos de ferro e de alumínio, carbonatos, principalmente. Aplica-se pré-tratamento também na análise granulométrica de solos afetados por sais, para a remoção de agentes flocculantes, quando presentes em altas concentrações, pois a elevada concentração de sais na solução do solo reduz a dupla camada difusa, favorecendo a flocculação das argilas (CAMARGO et al., 2009). Embora contribuam para a quebra dos agregados de solo, os pré-tratamentos são pouco utilizados em muitas rotinas laboratoriais, em função do tempo gasto, do aumento de custos e também por sua eficiência ainda ser pouco comprovada, iniciando-se a análise com a fase de dispersão das amostras.

A segunda etapa corresponde à etapa de dispersão e fundamenta-se na separação das partículas reunidas em agregados em partículas individuais (areia, argila e silte) e, é realizada mediante o uso de uma combinação de processos químicos e físicos. Na dispersão química o pH do meio é de grande importância na dispersão de argilas que apresentam cargas dependentes de pH. Assim, é baseada no incremento da repulsão das partículas em resposta à elevação do seu potencial zeta (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2017), por meio da utilização de uma solução constituída de um cátion de maior poder dispersante, monovalente e de maior raio iônico hidratado, que desloca os cátions presentes no complexo de troca que favorecem a flocculação.

Na maioria dos laboratórios brasileiros utiliza-se o hidróxido de sódio como dispersante, e ao usar esse cátion de maior poder dispersante, eleva-se o pH da suspensão que se mantém próximo de 12 durante toda a análise. Nessas condições, incrementa-se o número de cargas negativas dependentes de pH e consequentemente, favorece a dispersão das argilas pelo aumento do potencial eletocinético do sistema, mantendo as partículas dispersas, em função da repulsão das cargas (MAURI, 2008).

Já a dispersão mecânica (física), consiste na agitação da suspensão das amostras de solo, que contribui para a quebra dos agregados, e pode ser realizada por agitação rápida, a 12.000 rotações por minuto, por 15 minutos, agitação lenta, a 25 a 50 rotações por minutos, por 16 horas ou ultrassom (RUIZ, 2005). A agitação por ultrassom é baseada no princípio da transmissão de ondas de vibração que produzem bolhas microscópicas, que colapsam, produzindo cavitação e, conseqüentemente, liberam energia em grande intensidade, que contribuem para a quebra dos agregados do solo (MAURI, 2008). Para quantificar as frações é necessário separá-las, podendo-se utilizar o peneiramento, para as frações areia grossa e areia fina e a sedimentação para as frações silte e argila.

Na análise granulométrica pelo método da pipeta (TEIXEIRA et al., 2017), após a separação da fração areia por tamisação, agita-se a suspensão após passagem pela peneira (fração silte + fração argila), coleta-se uma amostra de toda suspensão e a seguir, determina-se a temperatura da suspensão para estabelecer o tempo de sedimentação do silte. Após esse período estimado, realiza-se a coleta da suspensão da fração argila. Após secas, as frações são determinadas e o erro distribuído proporcionalmente entre as frações (RUIZ, 2005).

2.2 DISPERSANTES FÍSICOS

A dispersão física, também chamada de dispersão mecânica, consiste na agitação da suspensão de solo, utilizando-se agitadores, que contribuem para a quebra dos pequenos agregados, que combinado com o dispersante químico vence a força de ligação dos agregados e substâncias húmicas e favorece a dispersão da argila (MIYAZAWA; BARBOSA, 2011). Os agitadores mais utilizados são o agitador recíprocante, agitador com movimento circular e o agitador orbital, sendo que o tempo de agitação sugerido varia em função do agitador utilizado (MIYAZAWA; BARBOSA, 2011).

Silva et al. (2014) testaram em solos do Acre a agitação rápida (12.000 rotações por minuto) com agitador orbital e a agitação lenta (de 50 a 180 rotações por minuto) com agitador rotacional (wagner) e verificaram que a agitação orbital e rotacional produziram resultados semelhantes.

2.3 DISPERSANTES QUÍMICOS

A dispersão química consiste em promover a repulsão das partículas do solo por meio da ação de agentes dispersantes, como o hidróxido de potássio, tetraborato de sódio, hidróxido de lítio (MONTEIRO et al., 2015) e os compostos de sódio, hexametáfosfato (NaPO_3)₆ e o hidróxido de sódio (NaOH) (MAURI, 2008).

O dispersante tem como principal função a neutralização de íons flocculantes como cálcio e magnésio, agentes de cimentação como matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, além de outros sais, como cloretos e sulfatos de sódio (MONTEIRO et al., 2015). Vários agentes químicos são utilizados como dispersantes químicos, como é o caso do hidróxido de potássio, tetraborato de sódio e hidróxido de lítio. Além destes, o hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio também são utilizados (MAURI, 2008; MONTEIRO et al., 2015).

Segundo Anjos (2018), o hidróxido de sódio (NaOH) é um dispersante de baixo custo e fácil obtenção. A adição de sódio ao solo promove a expansão da dupla camada difusa em torno das partículas de argila, de tal forma que as forças repulsivas geradas superam as forças de atração e mantêm as argilas dispersas. Além disso, o hidróxido de sódio aumenta o pH da suspensão, alterando assim o balanço de cargas e promovendo a dispersão, sobretudo em solos ricos em ferro, alumínio, caulinita ou matéria orgânica (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2017).

Outro dispersante é o hexametáfosfato de sódio, sendo mais indicado para a dispersão de solos que apresentam dificuldade na estabilização da suspensão, como solos salinos e solos que apresentam elevados teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} e/ou predominância de cargas permanentes (ANJOS, 2018).

A escolha do dispersante depende de alguns fatores, como por exemplo, da presença de cátions no complexo de troca e da relação entre cargas permanentes e cargas dependentes do pH em minerais da fração argila. Para dispersão de solos que apresentem elevados teores de íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e/ou predominância de cargas permanentes que apresentam dificuldade na estabilização da suspensão, indica-se a utilização do hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)₆, por fornecer o sódio necessário à dispersão e por diminuir a pressão osmótica da solução, em função da precipitação dos fosfatos ligados aos cátions alcalinos-terrosos (MAURI, et al., 2011).

No entanto, mesmo no Brasil, há dúvidas quanto à utilização dos mesmos métodos em todas as regiões. Assim, mesmo a maioria dos solos brasileiros apresentando em sua mineralogia argilas de baixa atividade e carga variável, associadas com alto conteúdo de óxidos de ferro (hematitas e goetitas), de alumínio (gibbsitas) e de minerais do tipo 1:1 (caulinitas), ocorrem no nordeste brasileiro solos alcalinos e salinos (AGUIAR NETTO, 2007), cujas propriedades físicas e químicas exigem uso de diferentes dispersantes químicos. O mesmo ocorre em boa parte dos solos do estado do Acre, cuja presença de argila de atividade alta (2:1) associadas a minerais de carga permanente como a esmectita e vermiculitas (CALDERANO et al., 2019), pode alterar a eficiência tanto do processo físico de desagregação do solo, como da eficácia dos dispersantes químicos utilizados.

O hidróxido de sódio é o dispersante indicado como o mais eficiente na análise granulométrica de solos de algumas regiões brasileiras (VENTURA et al., 2016; NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2017). No entanto, Viana et al. (2019) estudando solos do Acre concluíram que para os solos com argila de atividade alta, pH acima de 6,0, com altos teores de cálcio e magnésio trocáveis, o hexametáfosfato de sódio seria o dispersante mais indicado para análise granulométrica.

Porém, Silva et al. (2014) ao analisarem dispersantes químicos e tipos de agitação mecânica na determinação das frações granulométricas de solos do estado do Acre recomendaram a mistura do hidróxido de sódio com o hexametáfosfato de sódio. Entretanto, os autores realizaram os testes apenas com horizontes superficiais, e o resultado pode ter sido influenciado pela matéria orgânica e manejo do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de seis diferentes classes de solos representativos do estado do Acre (Figura 1). Cinco amostras foram provenientes dos solos usados na IX RCC e estão descritos no Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (AMARAL et al., 2013) (Tabela 1). Um perfil foi proveniente de um levantamento pedológico, aptidão agrícola e estratificação pedoambiental do *Campus Floresta*, Cruzeiro do Sul, Acre (ARAÚJO et al., 2018).



Figura 1– Perfis dos solos estudados. Argissolo Amarelo (A). Latossolo Amarelo (B). Argissolo Vermelho Amarelo (C). Argissolo Vermelho (D). Luvisolo (foto: Sérgio Shimizu) (E). Vertissolo (F).

A escolha pelas respectivas classes de solo se deu em função da sua representatividade no estado do Acre, que juntos abrangem a área de 6.821.794 hectares, e pelas diferenças observadas nos seus atributos, principalmente quanto a capacidade de troca catiônica (CTC), teor de matéria orgânica, pH e teores de cátions trocáveis (Tabela 1), uma vez que os métodos visam um padrão regional.

Tabela 1 – Caracterização química e física das amostras do horizonte superficial e subsuperficial dos solos estudados e descritos por Anjos et al. (2013) e o solo estudado por Araújo et al. (2018)

Característ. CMOL _c /kg	*P01		P02		P06		P07		P08		P09	
	Ap	Bt2	Ap	Bw2	Ap	Bt2	Ap	Biv	Ap	Bt2	Ap	Bt2
pH em H ₂ O	4,8	4,8	5,4	5,3	5,1	5,1	6,8	7,0	6,3	6,0	6,1	5,5
pH em KCL	3,5	3,8	4,0	4,1	3,7	3,7	5,5	5,1	4,9	3,8	4,5	3,6
Ca ²⁺	0	0	0,7	0,3	1,7	0,2	33,8	37,3	22,8	23,3	3	1,6
Mg ²⁺	0,05	0,04	0,7	0,3	2,1	1,5	4,1	6,2	4,0	4,0	2,4	7,8
K ⁺	0,03	0,13	0,06	0,02	0,42	0,07	0,11	0,09	0,16	0,16	1	0,15
Na ⁺	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,06	0,06	3	0,05
Al ³⁺	0,8	1,3	0,7	1,3	2,4	10,2	0	0	0	1,5	0,1	12,2
CTC	0,96	1,48	4,9	1,8	12,2	14,6	39,4	43,6	30	31,5	2	24,7
C	9,5	10,0	6,8	1,2	18,5	4,2	14,9	3,5	17,3	2,6	8	2,5
Argila(g/kg)	-	-	163	265	294	571	483	603	363	476	291	346
Silte	-	-	45	34	484	299	427	366	541	492	269	147
Areia grossa	-	-	341	387	193	112	80	27	81	28	421	501
Areia fina	-	-	451	314	29	18	7	4	15	4	19	6

Anjos et al. (2013). *Araújo et al.(2018).

As classes de solos estudadas foram Argissolo Vermelho Alítico nitossólico, Argissolo Vermelho Amarelo Alítico típico, Latossolo Amarelo Distrófico típico, Argissolo Amarelo Distrófico típico, Luvisolo Crômico Pálico verissólico, Vertissolo Háptico Órtico, respectivamente. De cada solo foram analisados dois horizontes (superficial e subsuperficial/ diagnóstico). Os solos estudados no trabalho foram coletados nos municípios de Cruzeiro do Sul, Tarauacá e Mâncio Lima no Vale do Juruá (Tabela 2).

Tabela 2- Localização, caracterização e horizonte de coleta das classes de solos estudadas do estado do Acre.

Solos	Horizontes	Localização	Atributos ¹
* AC - P01 - Argissolo Amarelo Distrófico típico	Ap Bt2	Cruzeiro do Sul	Argila 1:1; Textura média argilosa
**AC - P02 - Latossolo Amarelo Distrófico típico	Ap Bw2	Mâncio Lima	Argila 2:1; Textura média argilosa
**AC - P06 - Argissolo Vermelho Alítico nitossólico	Ap Bt2	Tarauacá	Argila 1:1; Textura argilosa
**AC - P07 - Vertissolo Háptico Órtico	Ap Biv	Tarauacá	Argila 2:1; Textura muito argilosa.
**AC - P08 - Luvisolo Crômico Pálico verissólico	Ap Bt2	Tarauacá	Argila 2:1; Textura argilosa.
**AC - P09 - Argissolo Vermelho Amarelo Alítico típico	Ap Bt2	Tarauacá	Argila 1:1; Textura média argilosa

Nota: ** Segundo Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (Amaral et al., 2013). *Levantamento pedológico, aptidão agrícola e estratificação pedoambiental do Campus Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre (ARAÚJO et al., 2018).

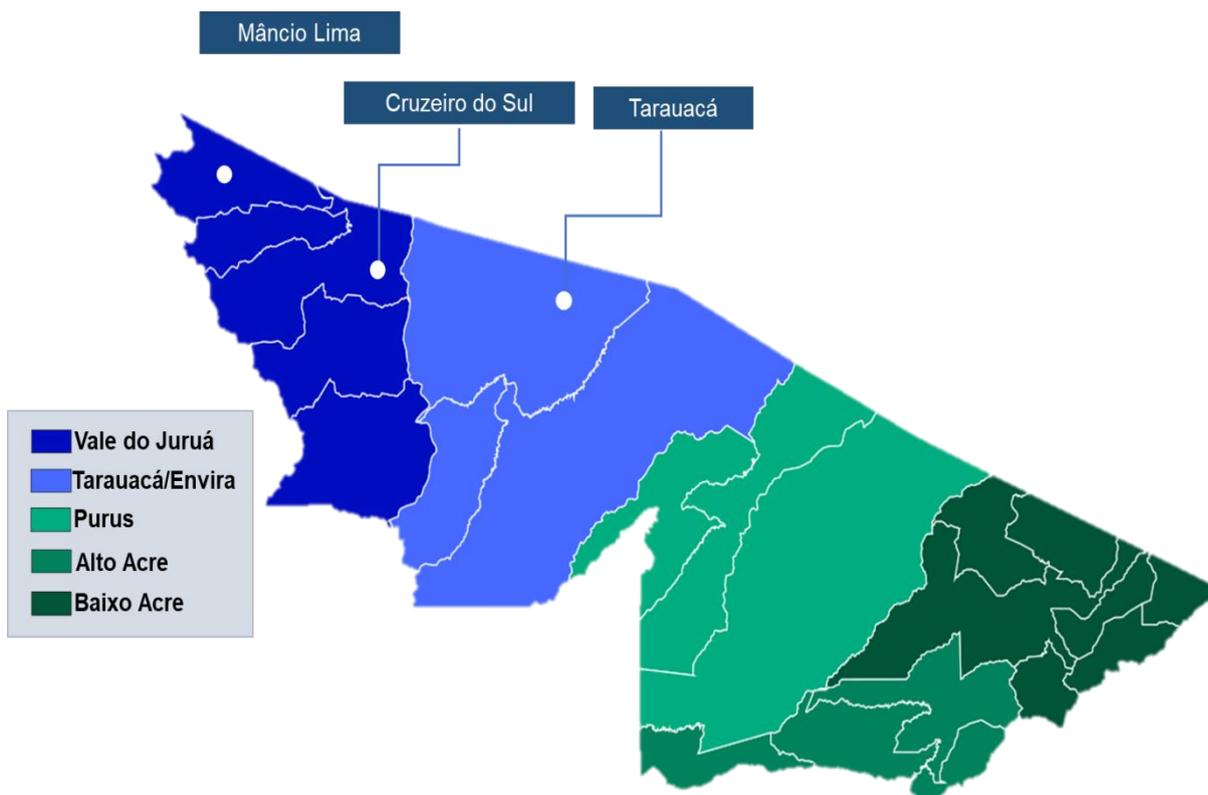


Figura 2 - Localização das classes de solos estudadas do estado do Acre.

A análise de granulometria foi realizada conforme (TEIXEIRA et al., 2017), com adaptações sugeridas para a padronização do método com a pipetagem de uma coleta adicional (silte + argila) conforme recomendado por Ruiz (2005). Foram avaliados três dispersantes químicos (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e a combinação de hidróxido de sódio + hexametáfosfato de sódio) e dois tipos de dispersão física: agitação lenta do tipo rotacional a 50 rpm usando agitador de wagner por 16 horas e agitador orbital a 150 rpm por mesmo tempo do rotacional.

As amostras de solo foram secas em estufa de ventilação forçada e em seguida foram pesados aproximadamente 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA), com aproximação de 0,01 g (Figura 3). Em seguida foram acrescentados 10 mL de solução de dispersante (cada um correspondendo a um tratamento) (Figura 3) e 100 mL de água desionizada. Posteriormente, as amostras foram agitadas em agitador de wagner por 16 horas a 50 rpm e em agitador orbital por 16 horas a 150 rpm (Figura 3).



Figura 3 – Etapas da análise granulométrica. Amostras secas em estufa de ventilação forçada (A). Terra Fina Seca ao Ar (B). 20g de amostra de TFSA (C). 10 mL dispersante (D). Amostras em agitador de wagner (E). Amostras em agitador orbital (F).

Vinte e quatro horas após a agitação, a suspensão foi passada em peneira de 0,053 mm para retenção da areia (que foi colocada em placas de petri) sobre funil e provetas de 1000 mL para coleta das frações silte e argila (Figura 4). Em seguida a fração silte e argila depositadas nas provetas foram agitadas de forma constante por 20 segundos e coletada uma alíquota de 50 mL na profundidade de 5 cm, correspondente a fração silte+argila (Figura 4).



Figura 4 - Lavagem da areia e coleta de silte e argila em proveta (A). Coleta de areia em placa de petri (B). Coleta da fração silte+argila (C).

Após a coleta, a suspensão ficou em repouso para decantação do silte de acordo com a temperatura do ambiente da amostra (Figura 5). Decorrido o tempo calculado conforme a Lei de Stokes (Tabela 3) foram coletados 50 mL da suspensão, fração argila. O processo de coleta foi o mesmo realizado na coleta da fração silte+argila, já descrito.

Foi preparada uma prova em branco, colocando 10 mL dos respectivos dispersantes químicos e 100 mL de água destilada, sem utilizar a amostra do solo. A umidade de cada amostra de solo foi determinada para correção dos resultados.

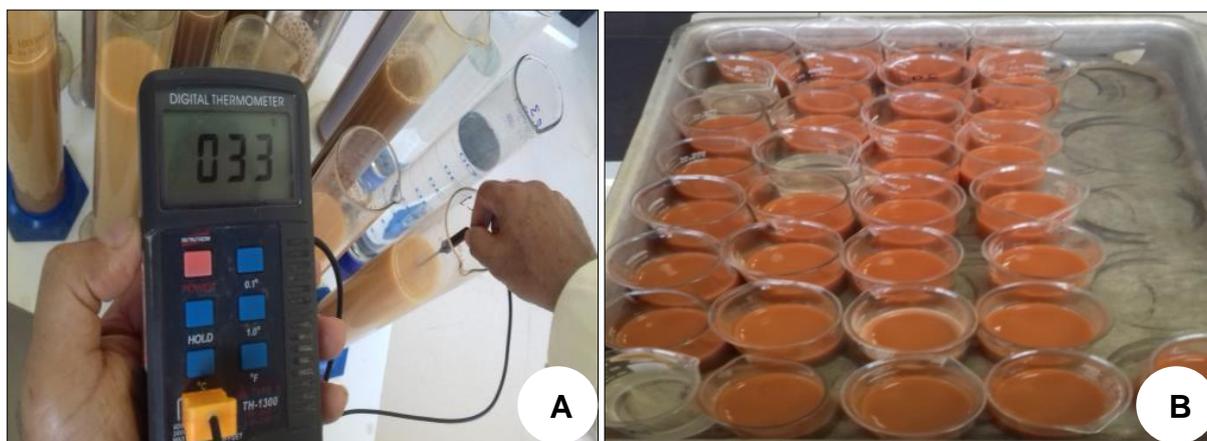


Figura 5 - Verificação da temperatura da solução (A). Coleta da argila de acordo com o tempo decorrido calculado conforme Lei de Stokes (B).

Tabela 3 - Tempo de decantação do silte e sedimentação da argila ajustada para a temperatura do laboratório conforme a Lei de Stokes.

Temperatura (°C)	Tempo	Temperatura (°C)	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Fonte: Donagemma et al. (2017).

Todas as frações foram secas em estufa a 105°C e posteriormente pesadas em balanças analíticas (Figura 6). A areia grossa e a fina foram separadas por peneiramento por meio de malha de 0,210 mm (Figura 6C). Os dados da análise granulométrica foram tabulados e, posteriormente, calculadas as proporções das frações areia grossa e fina, silte e argila e o erro distribuído proporcionalmente entre as frações.

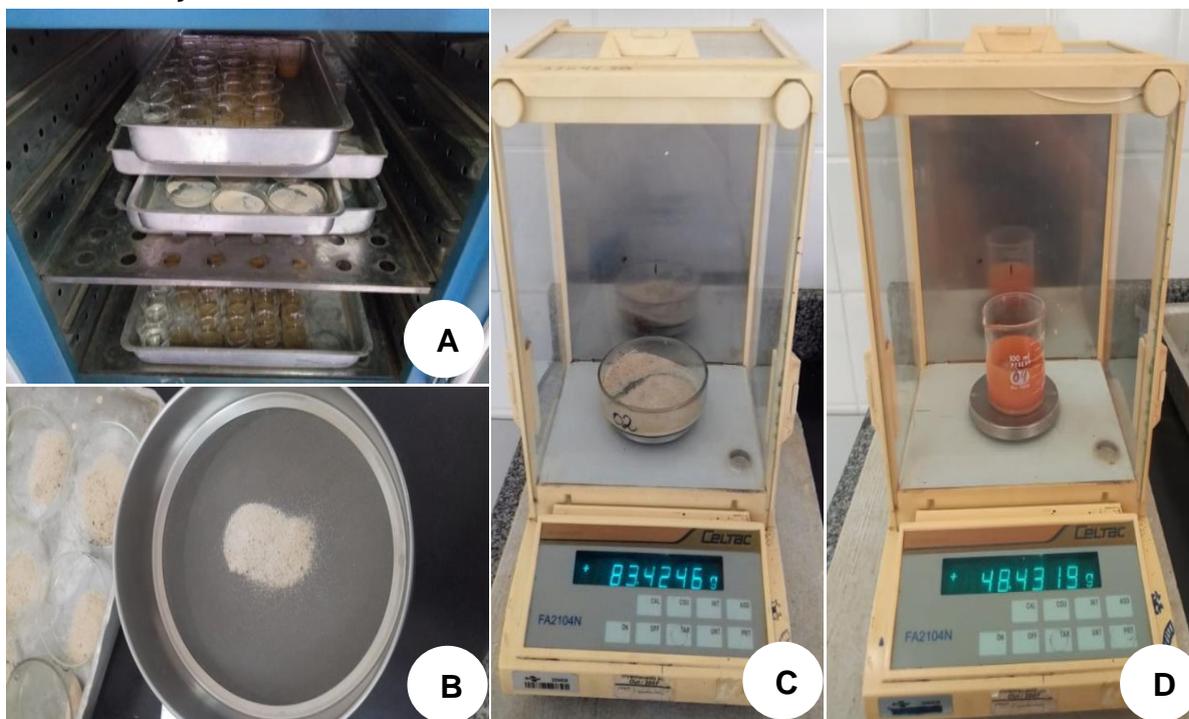


Figura 6 - Frações secas em estufa a 105°C (A). Separação da areia em grossa e fina (B). Pesagem da areia grossa (C). Pesagem da argila (D).

Nas amostras coletadas foram avaliados os teores de cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+}), pH em água e em KCl 1 mol/L, acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), fósforo disponível, fósforo remanescente e carbono orgânico (TEIXEIRA et al., 2017).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (onde o primeiro fator corresponde aos três dispersantes químicos e o segundo aos dois agitadores), com 5 repetições. Os dados foram submetidos à verificação de pressupostos e posteriormente efetuou-se a análise de variância dos dados originais e verificados pelo teste F a existência ou não de diferença significativa entre os tratamentos. E, quando significativos, comparados pelo teste de Tukey (1949), com 5% de probabilidade de erro, e o melhor dispersante foi avaliado como aquele que possibilita quantificar maior teor de argila nas amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela variabilidade nos atributos químicos dos solos, em especial aqueles relacionados à mineralogia dos solos, como a CTC e os teores de bases e alumínio trocável, pode-se observar que as amostras são heterogêneas e representam diferentes condições químicas (Tabela 4), que foi um dos critérios para a escolha das respectivas classes de solo.

Tabela 4 - Caracterização química das amostras do horizonte superficial e subsuperficial dos solos estudados.

Caract. CMOL _c /kg	P01		P02		P06		P07		P08		P09	
	Ap	Bt2	Ap	Bw2	Ap	Bt2	Ap	Biv	Ap	Bt2	Ap	Bt2
pH em H ₂ O	4,8	4,8	5,0	5,3	4,9	5,1	6,0	5,4	5,2	6,1	5,5	5,2
pH em KCL	3,5	3,8	3,9	4,1	3,6	3,7	4,9	3,5	3,5	4,5	4,2	4,2
Ca ²⁺	0	0	0,3	0,4	0,3	25,3	22,4	13,7	30,5	12,1	1,95	0
Mg ²⁺	0,05	0,04	0,6	0,1	2,9	3,2	4,1	6,5	9,0	2,2	8,73	1,43
K ⁺	0,03	0,13	0,15	0,08	0,24	0,24	0,36	0,32	0,32	0,18	0,29	0,12
Na ⁺	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11	0,09	0,13	0,15	0,38	0,08	0,1	0,06
Al ³⁺	0,85	1,27	0,6	0,6	5,3	0	9,4	7,1	0	0,7	13,2	5,9
CTC	4,83	3,68	4,52	2,45	12,8	31,1	37,8	30,5	41,2	18	27,3	10,2
C. (g kg ⁻¹)	9,55	10,0	11,9	2,7	2,7	6,5	15,6	10,3	9,5	3,8	15,4	3,0
H + Al	4,7	3,5	3,4	1,8	9,2	2,2	10,8	9,8	0,9	3,4	16,3	8,6
P Rem.	39	18,3	28,2	17,6	5,5	1,4	24,3	4,1	6,8	29,7	22,4	2,1
SB	0,11	0,21	1,1	0,65	3,5	28,9	27	20,7	40,2	14,6	11,1	1,6
V%	2,28	5,71	24,3	26,5	27,8	92,8	71,5	67,7	97,7	81,1	40,5	15,7
m%	88,5	85,8	34,1	47,6	60,0	0	25,9	25,4	0	4,8	54,3	78,5

Ao comparar os resultados químicos e físicos do presente estudo com os encontrados e descritos na IX RCC (ANJOS et al., 2013) notam-se algumas discrepâncias (Tabela 4 x Tabela 1), as quais podem ser explicadas pela própria variabilidade amostral, mas também pela diferença de métodos de determinação das análises. As análises químicas do presente estudo foram realizadas com base em volume, enquanto os resultados apresentados no Guia de Campo da IX RCC foram com base de massa.

Quanto às análises físicas (Tabela 5 x Tabela 1), embora não apresentado no Guia (ANJOS et al., 2013) o método usado, mas tomando por base o Guia de Campo da XII RCC (LUMBRERAS et al., 2019), provavelmente tenha sido usado o método do densímetro com agitação rápida e sem a coleta da fração silte+argila, enquanto neste trabalho, foi utilizado o método da pipeta, agitação lenta e coleta da fração silte+argila e

distribuição do erro experimental nas frações. As diferenças significativas existentes entre os procedimentos laboratoriais apontam para a necessidade de maior rigor na execução destas análises para se evitar baixa precisão dos resultados.

O coeficiente de variação para a variável estudada foi baixo em todos os solos, variando de 2,9 a 15,0, indicando de ótima a boa precisão experimental (GOMES, 1987). Vale ressaltar que cada tratamento foi realizado com cinco repetições, podendo assim proporcionar melhor estimativa do efeito do tratamento, possibilitando a precisão do experimento.

A avaliação do dispersante químico mais adequado foi realizada pelo teor de argila, considerando-se o mais efetivo aquele que permitiu quantificar o maior teor desse atributo. Segundo Donagemma et al. (2003), a exatidão da análise granulométrica depende da completa dispersão do solo e da manutenção da estabilidade da fase dispersa. Dessa forma, o incremento na proporção de argila é considerado indicativo de maior eficácia do dispersante imposto e do melhor agitador.

Para o Argissolo Amarelo Distrófico típico não foram observadas diferenças significativas entre os dispersantes químicos nem entre os dispersantes físicos (Tabela 5). Esse solo foi coletado no município de Cruzeiro do Sul e não fez parte dos solos estudados na IX RCC, estando descrito em Araújo et al. (2018). É um solo com argila de baixa atividade, distrófico, com baixos teores de cátions e mineralogia predominante de caulinitica. A explicação provável para o resultado é que como a caulinita é o mineral predominante nesse solo conferindo-lhe baixa quantidade de cargas negativas (sendo portanto de carga dependente de pH), a elevação do pH do mesmo com a adição de sódio presente nos três dispersantes químicos tenha ocasionado boas respostas na dispersão tanto com hidróxido de sódio como com os demais dispersantes.

Outro solo estudado com mineralogia predominantemente caulinitica foi o Latossolo Amarelo Distrófico típico, onde o hidróxido de sódio foi o dispersante químico mais eficiente. Porém a mistura não diferiu estatisticamente nem do hidróxido nem do hexametáfosfato. Na camada superficial, onde se encontrou o maior teor de matéria orgânica, o agitador rotacional proporcionou maior dispersão, já no horizonte diagnóstico não houve diferença entre os agitadores (Tabela 5). Portanto, o hidróxido de sódio pode ser utilizado na análise granulométrica desse solo. Esse resultado foi divergente do relatado por Mauri et al. (2011), que ao compararem dispersantes químicos na análise granulométrica de amostras de horizontes A e B de oito Latossolos de Minas Gerais, concluíram que a mistura foi o dispersante mais eficiente.

Tabela 5 - Teores de argila obtidos pelos dispersantes (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e mistura) e pelos agitadores (wagner e orbital).

Dispersante	Agitador			
	Wagner		Orbital	
AC - P01- Argissolo Amarelo Distrófico típico				
	Ap	Bt2	Ap	Bt2
Hidróxido de sódio	117 Aa	294 Aa	100 Aa	293 Aa
Hexametáfosfato de sódio	111 Aa	279 Aa	108 Aa	259 Aa
Mistura	106 Aa	288 Aa	107 Aa	296 Aa
AC - P02- Latossolo Amarelo Distrófico típico				
	Ap	Bw2	Ap	Bw2
Hidróxido de sódio	150 Aa	242 Aa	127 Ab	226 Aa
Hexametáfosfato de sódio	139 Ba	205 Ba	113 Bb	214 Ba
Mistura	142 ABa	224 ABa	127 ABb	227 ABa
AC - P06 - Argissolo Vermelho Alítico nitossólico				
	Ap	Bt2	Ap	Bt2
Hidróxido de sódio	383 Aa	380 Aa	372 Aa	349 Ab
Hexametáfosfato de sódio	346 Ba	362 Aa	310 Bb	339 Ab
Mistura	362 Ba	370 Aa	324 Bb	339 Ab
AC - P07 - Vertissolo Háplico Órtico				
	Ap	Biv	Ap	Biv
Hidróxido de sódio	404 Aa	566 Ba	402 Aa	583 Aa
Hexametáfosfato de sódio	455 Aa	549 Ba	438 Aa	544 Ba
Mistura	466 Aa	610 Aa	454 Aa	520 Bb
AC - P08 - Luvisolo Crômico Pálico verissólico				
	Ap	Bt2	Ap	Bt2
Hidróxido de sódio	453 Aa	319 Aa	443 Ba	222 Bb
Hexametáfosfato de sódio	416 Bb	374 Aa	489 Aa	472 Aa
Mistura	473 Aa	427 Aa	463 Ba	561 Aa
AC - P09 - Argissolo Vermelho Amarelo Alítico típico				
	Ap	Bt2	Ap	Bt2
Hidróxido de sódio	321 Aa	424 Aa	236 Ba	428 Aa
Hexametáfosfato de sódio	346 Aa	392 Aa	322 Ba	365 Bb
Mistura	331 Ab	391 Aa	407 Aa	414 Aa

Médias seguidas de mesma letra na linha e na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Os demais solos estudados apresentaram maior frequência de argilas de alta atividade, conforme se pode inferir pelos maiores valores de CTC destes solos, principalmente no horizonte diagnóstico da respectiva classe de solo (Tabela 5).

No horizonte superficial do Argissolo Vermelho Alítico nitossólico o hidróxido de sódio foi o dispersante mais eficiente na dispersão das argilas. No horizonte diagnóstico não houve diferença entre os três dispersantes químicos (Tabela 5). Quanto ao tipo de agitador, o teor de argila foi superior ($p < 0,05$) no agitador tipo wagner comparado ao orbital, pelo teste de Tukey. A possível explicação para o resultado nessa classe de solo, é que como a CTC é alta apresentando, portanto, cargas permanentes, a atração eletrostática entre as cargas elétricas negativas das partículas e íons ligantes (Ca, Mg, por exemplo), seja a maior responsável pela união entre as partículas, e dessa forma a introdução de dispersantes químicos associado aos físicos por agitação lenta (que proporcionam maior tempo de contato dos dispersantes com as amostras de solo), apresenta boas respostas na dispersão tanto com o hidróxido como com os demais dispersantes.

No Argissolo Vermelho Amarelo Alítico típico os dispersantes químicos proporcionaram resultados similares quando as amostras foram submetidas à agitação no agitador de wagner. No entanto, quando se utilizou o orbital, a mistura mostrou-se mais efetiva na dispersão das argilas no horizonte superficial, e no horizonte diagnóstico, o hidróxido e a mistura foram os mais eficientes (Tabela 5). Foi observado nas amostras do horizonte superficial, altos teores de cálcio, magnésio e alumínio, alta CTC e alto teor de matéria orgânica (Tabela 4).

O resultado referente aos dispersantes químicos nesse solo pode estar relacionado tanto à ação do sódio deslocando íons divalentes e trivalentes e aumentando o tamanho da dupla camada difusa; quanto à ação do íon H^+ deslocando alguns íons monovalentes, como o potássio, principalmente, e também facilitando maior hidratação das camadas de argila, que por sua vez anula também as forças de atração, através do aumento da distância da dupla camada, favorecendo a dispersão. Além disso, o hexametáfosfato diminui a pressão osmótica da solução, em função da precipitação dos fosfatos ligados aos cátions alcalinos-terrosos (MAURI et al., 2011).

Nascimento Júnior et al. (2017) avaliando o hidróxido de sódio e o hexametáfosfato de sódio como dispersantes químicos e tempos de contato na dispersão de solos do estado da Bahia, como o Argissolo Vermelho Amarelo, concluíram que o hidróxido de sódio foi quem ocasionou o melhor resultado na

dispersão dos solos estudados.

Para o Luvisolo Crômico, ao se utilizar o agitador de wagner, não houve diferença significativa entre o hidróxido de sódio e a mistura no horizonte superficial. Porém no horizonte diagnóstico não houve diferença estatística entre os três dispersantes químicos. No entanto, quando se utilizou o agitador orbital, o hexametáfosfato proporcionou maior dispersão no horizonte superficial e agiu de forma similar a mistura no horizonte diagnóstico (Tabela 5), sendo estes os melhores dispersores no referido horizonte.

Esse resultado vai de encontro ao de Viana et al. (2019) que recomendaram o hexametáfosfato para solos com argila de atividade alta e elevados teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis. E aos de Silva et al. (2014) que avaliando os mesmos dispersantes químicos (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e hidróxido de sódio + hexametáfosfato do sódio) utilizados neste trabalho, bem como os tipos de agitação mecânica, na determinação das frações granulométricas de solos no Acre puderam concluir que a mistura ($\text{NaOH} + (\text{NaPO}_3)_6$) é eficiente na dispersão das argilas desses solos estudados e pode ser recomendado para solos do Estado.

Na dispersão do horizonte superficial do Vertissolo Háptico, independente do agitador a ser utilizado, o hexametáfosfato e a mistura de dispersantes, resultou em maiores teores de argila no referido horizonte. No horizonte diagnóstico, quando se utilizou o agitador de wagner, a mistura foi o dispersante químico mais eficiente. E ao se utilizar o agitador orbital o hidróxido de sódio foi o mais eficiente no referido horizonte (Tabela 5).

Cunha et al. (2014a) verificaram que o NaOH foi o dispersante mais eficiente na análise granulométrica de horizontes diagnósticos de 26 perfis de solos de referência de Pernambuco - Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, Luvisolo Crômico e Vertissolo. As divergências nos resultados evidencia a particularidade desse tipo de solo na região e, portanto a necessidade de padronização da metodologia para o estado do Acre.

O maior efeito dos dispersantes químicos foi observado no horizonte diagnóstico subsuperficial. Isso não ocorreu na camada superficial, onde as propriedades químicas tendem a ser menos pronunciadas entre as diferentes classes de solos. Isso ocorre, porque os solos com argilas de alta atividade que apresentam elevados teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} e/ou predominância de cargas permanentes podem apresentar dificuldade na dispersão, sendo o hexametáfosfato

de sódio o dispersante mais indicado (ANJOS, 2018). Além disso, na camada superficial, a matéria orgânica nos solos também pode exercer influência no processo de dispersão da argila (TOGNON et al., 2002; ALMEIDA, 2015).

Para Miyazawa e Barbosa (2011) a matéria orgânica pode influenciar a análise granulométrica e conseqüentemente superestimar os valores das partículas obtidas na análise, inclusive os valores de argila. Isso ocorre em duas situações, a primeira incluindo a massa da matéria orgânica na obtenção da terra fina seca ao ar que será utilizada na análise e a segunda com a massa de argila da suspensão, incluindo também a massa da matéria orgânica que se encontra adsorvida na argila.

Dessa forma, pode ter ocorrido subestimativa do teor de argila em função da presença de matéria orgânica, sugerindo que se deve avaliar futuramente meios para eliminar essa interferência, tratando-se a amostra com forte redutor, como água oxigenada, antes da determinação granulométrica.

5 CONCLUSÕES

1. A mistura do hidróxido de sódio + hexametáfosfato de sódio e o hidróxido de sódio combinados com a agitação rotacional agiram de forma similar na dispersão da argila para os solos do estado do Acre e podem ser recomendados como dispersantes para análise granulométrica dos solos do Estado.
2. A matéria orgânica pode interferir de forma negativa na dispersão da argila.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETTO, A. DE O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. DE S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salinidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1640-1645, 2007.
- ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. G. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEXEIRA, W. G. Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, **Comunicado Técnico**, n. 66, 2012, 11 p.
- ALMEIDA, P. H. S.; FRANCO, J. D. M.; TAVARES, C. R. G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**, v. 61 n. 357, 2015.
- AMARAL, E. F.; ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, H.; MELO, A. W. F.; AMARAL, E. F.; SILVA, J. R. T.; RIBEIRO NETO, M. A.; BARDALES, N. G. Ocorrência e distribuição das principais classes de solos do estado do Acre. In: ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. M.; WADT, P. G. S.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G (Eds.). **Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2013. p. 97-129.
- ANJOS, C. S. S. dos. **Análise do solo do Cerrado do município de Tartarulgazinho - AP pelo método granulométrico usando diferentes reagentes químicos**. 2018. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2018.
- ARAÚJO, E. A.; MOREIRA, W. C. L.; SILVA, J. F.; BARDALES, N. G.; AMARAL, E. F.; PEREIRA, S. S.; OLIVEIRA, E.; SOUZA, R. E. SILVA, S. S. MELO, A. W. F. **Levantamento pedológico, aptidão agrícola e estratificação pedoambiental do Campus Floresta, Cruzeiro do Sul, Acre**. Rio Branco: Edufac, 2018. 120p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: **Solo**: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F. da; OLIVEIRA, F. P. de; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.7, n.3, p. 010-019, 2019.
- BATISTA, M. de A.; PAIVA, D. W.; MARCOLINO, A. **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 87 p. (Documentos, 169).
- BATISTA, A. M.; VIANA, A. R. S.; SILVA, B. M.; CAIXETA, S. P.; MOREIRA, S. G. Análise granulométrica influenciada pela qualidade da água e dispersantes químicos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n. 21, p. 127, 2015.
- BRASIL. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Instrução normativa**, n. 2, de 9 de outubro de 2008. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília: D.O.U. 10/10/2008. Seção I.

CALDERANO, S. B.; CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; GREGORIS, G. Mineralogia da fração argila dos solos da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos – estado do Acre. In: SILVA, L. M.; ANJOS, L. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. **Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: Solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: Potencialidades e demandas de pesquisa.** Brasília, DF: Embrapa, p. 26-35, 2019.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do instituto agrônomo de Campinas.** Campinas, Instituto Agrônomo, Boletim Técnico, n. 106, 2009, 77 p.

CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; BERALDO, J. M. G.; MARCELO, A. V. Adição de areia para dispersão de solos na análise granulométrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.255-262, 2009.

CUNHA, J. C.; FREIRE, M. B. G. dos S.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; VICTOR H. ALVAREZ, V. H. Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p.783 - 789, 2014a.

CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A. de; BARBOZA, B. B.; A FRIEDERICHS, A.; RECH, C.; HEBERLE, D. A.; GROHSKOPF, M. A. Comparação de métodos de determinação de argila em diferentes solos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 20, n. 1/2, p. 126-136, 2014b.

CZYŻ, E. A.; DEXTER, A. R. Mechanical dispersion of clay from soil into water: readily-dispersed and spontaneously-dispersed clay. **Institute of Agrophysics**, Polish Academy of Sciences, v. 29, n. 1, p. 31-37, 2015.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C; SCHAFFLER, C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 765 - 772, 2003.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C.; FERNANDES, B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo.** 3ª ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95-116.

GAMA, J. R. N. F. **Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta do Estado do Acre.** 1986. 150 f. Dissertação (Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia curso de Pós-Graduação em Ciência do solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 12. ed. São Paulo, Nobel, 1987, 466 p.

KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M. da; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, p.850-853, 2013.

LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; WADT, P. G. S.; Pereira, M. G.; DELARME LINDA, E. A.; BURITY, K. T. L. **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.

MAURI, J.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; KER, J. C.; REZENDE, L. R. M. Dispersantes químicos na análise Granulométrica de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1277-1284, 2011.

MARTÍNEZ, K.B.; LÁZARO, J. M.; CABALLERO, E. M. C. Dispersantes químicos y cuantificación de fracciones texturales por los métodos Bouyoucos y pipeta. **Acta Agronomica**, v. 64, n. 4, p 308-314, 2015.

MIYAZAWA, M; BARBOSA, G. M. C. Efeitos da agitação mecânica da matéria orgânica na análise granulométrica do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 680-685, 2011.

MONTEIRO, B. C.; ARAUJO, D. M. F.; MELEM JUNIOR, N. J. Avaliação de calgon consorciado com NaOH para determinação da granulometria de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 55., 2015, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Recursos renováveis: inovação e tecnologia. Rio de Janeiro: ABQ, 2015.

NASCIMENTO JÚNIOR, A. L. do; SOUZA, L. da S.; SILVA, E. O. da; SILVA, F. T. dos S.; SANTOS, N. A. C.; SOUZA, P. P. de; VIEIRA, A. L; SANTANA JÚNIOR, J. J. de; CONCEIÇÃO, T. A.; ALVES, M. C. da S.; LIMA, A. P. de J. Concentrações de dispersantes químicos e tempos de contato na dispersão de solos representativos do estado da Bahia. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 68-74, 2017.

PEREIRA, A. H.; VIANNA, N. B. Aplicação de análise granulométrica para classificação de textura de solo do bebedouro de Santa Gertrudes – Uberaba – MG. **Anais...** I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO – 2015. Eixo temático: Estudos ambientais em bacias hidrográficas: Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Hidrografia, Solos e Fisiologia da Paisagem.

RECH, C.; CUNHA, G. O. de M.; ALMEIDA, J. A. de; BARBOZA, B. B.; SANTOS, H. J. dos; DALL'ORSOLETTA, D. Teores de argila determinado pelos métodos do densímetro “simplificado” e pipeta dos solos de diferentes regiões brasileiras. **Anais...** XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 28 de Julho a 02 de agosto de 2013 - Costão do Santinho Resort Florianópolis Santa Catarina.

RODRIGUES, C.; OLIVEIRA, V. A. de; SILVEIRA, P. M. da; SANTOS, G. G. Chemical dispersants and pre-treatments to determine clay in soils with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1589-1596, 2011.

RUIZ, H. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SILVA, L. M. da; WADT, P. G. S. Alterações na metodologia para análises de teor de argila em solos são recomendadas. Disponível em: <http://sbcs-noroeste.blogspot.com/2018/09/alteracoes-na-metodologia-para-analises.html>. Acesso em: 25 de fev. 2020.

SILVA, L. M.; MARTINS, R. A.; WADT, P. G. S.; VIANA, H. M.; DONAGEMMA, G. K. Dispersantes químicos e tipos de agitação mecânica na determinação das frações granulométricas de solos do Estado do Acre. In: CIPRIANI, H. N.; MARCOLAN, A. L.; PFEIFER, F. M.; PASSOS, A. M. A. dos; ESPINDULA, M. C.; MENDES, A. M. **II Reunião de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental**, Porto Velho: SBCS, p. 43-47. 2014.

SILVA, T.O. da; DIAS NETO, S. L. S.; FERRAZ, R. L. ; PITANGA, H. N.; PAES, B. S. T. Avaliação geotécnica de corte rodoviário em perfil de solos residuais quanto ao potencial de erodibilidade. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 188-195, 2019.

SODRÉ, F. F; LENZI, E. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, v. 24, n. 3, p. 324-330, 2001.

SODRÉ, F. F. Química de Solos: Uma introdução. **Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA) da Universidade de Brasília**, v. 1, p.17-29, 2012.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. revisado e ampliado. Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

TONGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em Latossolos das regiões da floresta Amazônica e dos Cerrados do Brasil central. Piracicaba, SP. **Scientia Agrícola**, 2002.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VALMIQUI, C. L.; LIMA, M. R. de; FREITAS M. V de. **O Solo no meio ambiente: Abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007, 130 p.

VENTURA, M. V. A.; CHAGAS, P. C. dos S.; ALVES, L. da S.; BESSA, M. M. Influência da velocidade da agitação sobre a dispersão de argila e eficiência de concentrações de sódio como dispersante químico. **Revista Desafios**, v. 03, n. 02, p. 65-71, 2016.

VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K.; CEDDIA, M. B.; UNTERLINE, B.; ANDRADE, H. M. Granulometria: análise convencional e teste de dispersantes químicos em solos da IX RCC. In: SILVA, L. M.; ANJOS, L. H. C.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G.; WADT, P. G. S. **Anais...Pesquisas coligadas da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: Solos de formações sedimentares em sistemas amazônicos: potencialidades e demandas de pesquisa**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 111-119.