



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

GUTEMBERG BARBOSA GOMES

**EFEITO DAS INTERAÇÕES ENTRE POLIFOSFATO E ARGILA ROSA DO
MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA - PB NA ESTABILIDADE COLOIDAL DE
DISPERSÕES AQUOSAS**

**CAMPINA GRANDE- PB
2018**

GUTEMBERG BARBOSA GOMES

**EFEITO DAS INTERAÇÕES ENTRE POLIFOSFATO E ARGILA ROSA DO
MUNICÍPIO DE PEDRA LAVRADA - PB NA ESTABILIDADE COLOIDAL DE
DISPERSÕES AQUOSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Graduação em
Química Industrial.

Área de concentração: Físico-Química.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José de
Oliveira.

**CAMPINA GRANDE- PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G633e Gomes, Gutemberg Barbosa.
Efeito das interações entre polifosfato e argila rosa do município de Pedra Lavrada - PB na estabilidade coloidal de dispersões aquosas [manuscrito] : / Gutemberg Barbosa Gomes. - 2018.
55 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira , Departamento de Química - CCT."

1. Argila. 2. Argilominerais. 3. Bentonita. 4. Estabilidade coloidal.

21. ed. CDD 660

EFEITO DAS INTERAÇÕES ENTRE POLIFOSFATO E ARGILA ROSA DE PEDRA LAVRADA NA ESTABILIDADE COLOIDAL DE DISPERSÕES AQUOSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Química Industrial.


Área de concentração: Físico-Química.

Aprovada em: 12/06/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo José de Oliveira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Juracy Régis de Lucena
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



MSc. Ana Zélia Falcão Almeida (UEPB)

*Dedico este trabalho a Deus por toda força durante
o período de graduação, e a minha mãe
por todo incentivo e amor.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter sempre me dado forças para continuar firme na caminhada apesar de todas as dificuldades que surgiram, superando-as e alcançando meus objetivos.

A minha mãe Francisca, que sempre me deu todo o carinho e suporte necessários para que eu pudesse estar alcançando mais essa conquista na minha vida, a qual também pertence a ela.

A minha noiva Raquel, presente que a Universidade Estadual da Paraíba me deu, com a qual estudei desde o quinto período e desde então sempre me apoiou e deu forças para que não desistisse dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo José, por ter me dado a oportunidade de participar do grupo de pesquisa, no qual pude desenvolver este trabalho; além de todos os conhecimentos transmitidos para que eu pudesse realiza-lo da melhor forma.

Ao corpo docente do departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, por todo o conhecimento transmitido que me deu a formação que hoje possuo.

A minha colega de pesquisa e amiga Rayssa Jossanea, por todas as dúvidas sanadas e conhecimentos compartilhados durante a pesquisa e desenvolvimento do trabalho.

A todos os colegas de pesquisa integrantes do grupo Físico-Química de Materiais e frequentadores do Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), em especial, Rayssa, Ana Zélia, Pedro, Francisco e Cléber, que sempre estiveram dispostos a ajudar.

Aos meus colegas de turma, em especial, Raquel, Felipe, Ewellyn, Renan e Esdras, que sempre se puseram a disposição para ajudar em horas de dificuldade dentro e fora da universidade.

RESUMO

Inserido no segmento agrícola, no que diz respeito a manutenção da qualidade do solo visando o fornecimento de nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas, está o desenvolvimento dos fertilizantes de liberação controlada, também conhecidos como fertilizantes inteligentes. Esses fertilizantes tem como um de seus veículos o hidrogel, o qual pode ser produzido através da interação da argila com as cadeias de um polímero. A argila alvo do estudo foi a variação rosa, encontrada na cidade de Pedra Lavrada na Paraíba. O objetivo desse trabalho é estudar o comportamento coloidal da argila rosa em soluções de diferentes concentrações de polifosfato de sódio, e avalia-lo através de fotossedimentometria. A argila passou por caracterizações do tipo difratometria de Raios-X, na qual se identifica a partir de fichas cristalográficas a presença de esmectita, caulinita, muscovita e outros minerais acessórios, além de comprovar a característica de sodificação aplicada ao material por meio do alargamento do plano basal; Espalhamento de luz dinâmico e potencial zeta, onde a partir dos resultados pôde-se realizar a comparação com as curvas da fotossedimentometria. Foram realizados ensaios tecnológicos de ativação sódica, inchamento e teste do azul de metileno. A ativação sódica do material influenciou diretamente, através do aumento, tanto no inchamento quanto no índice de CTC da argila. Os resultados de fotossedimentometria apontaram que a concentração do polieletrólito no meio tem grande influência sobre o comportamento da dispersão, de modo que o aumento dessa promove a agregação das partículas resultando em populações grandes e com maior velocidade de sedimentação.

Palavras-Chave: Argilominerais. CTC. Estabilidade coloidal.

ABSTRACT

Inserted in the agricultural segment, with regard to the maintenance of soil quality in order to provide essential nutrients for plant growth and development, is the development of controlled release fertilizers, also known as intelligent fertilizers. These fertilizers have as one of their vehicles the hydrogel, which can be produced through the interaction of the clay with the chains of a polymer. The target clay of the study was the rose variation, found in the city of Pedra Lavrada in Paraíba. The objective of this work is to study the colloidal behavior of pink clay in solutions of different concentrations of sodium polyphosphate, and to evaluate it through photosedimentometry. The clay was characterized by X-ray diffractometry, which identifies from crystallography data sheets the presence of smectite, kaolinite, muscovite and other accessory minerals, as well as to verify the characteristics of sodification applied to the material by means of the enlargement of the basal plane; Dynamic light scattering and zeta potential, where from the results could be made the comparison with the curves of the photosedimentometry. Technological trials of sodium activation, swelling and methylene blue testing were performed. The sodium activation of the material influenced directly, through the increase, both the swelling and the CTC index of the clay. The results of photosedimentometry indicated that the polyelectrolyte concentration in the system has a great influence on the behavior of the dispersion, so that the increase of this promotes the aggregation of the particles resulting in large populations and with a higher sedimentation rate.

Keywords: Natural clays, CRF's, Colloidal stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arranjo geométrico de um filossilicato do tipo 2:1.....	11
Figura 2 - Tabela de classificação dos filossilicatos.....	12
Figura 3 - Estrutura das lamelas de Montmorilonita.....	14
Figura 4 - Dupla camada elétrica ao redor de uma partícula em solução coloidal.....	17
Figura 5 - Gráfico do potencial elétrico em função da distância da superfície da partícula.....	18
Figura 6 - Geometria de espalhamento no equipamento.....	20
Figura 7 – Associação entre as lamelas de Montmorilonita.....	21
Figura 8 - Cargas superficiais de partículas com diferentes valores de pH.....	21
Figura 9 - Delaminação de partículas de montmorilonita sódica em água.....	23
Figura 10 - Estrutura da Bentonita.....	24
Figura 11 - Arranjo planar de cadeias de polifosfato interligadas.....	25
Figura 12 - Polimerização por condensação do dihidrogenofosfato de sódio.....	26
Figura 13 - Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente.....	27
Figura 14 - Perdas por reflexão e espalhamento.....	28
Figura 15 - Ilustração do experimento de Young.....	29
Figura 16 - Esquema ilustrado da técnica de difração de pó.....	30
Figura 17 - Aparelhagem utilizada para trituração e tamisação da argila.....	31
Figura 18 - Agitação da dispersão em agitador magnético.....	32
Figura 19 - Equipamento utilizado para a centrifugação do material.....	33
Figura 20 - Eppendorfs contendo as amostras para DRX.....	35
Figura 21 - Tubos contendo as amostras enviadas para caracterização por DLS.....	36
Figura 22 - Resultados de inchamento da argila rosa natural (A) e da argila rosa tratada com carbonato de sódio (B).....	37
Figura 23 - Resultados do teste do azul de metileno para a argila rosa natural (bruta) (A) e para essa mesma argila passada pelo tratamento com carbonato de sódio (B).....	38
Figura 24 - Difratometria de Raios-X da argila Rosa natural.....	39
Figura 25 - Difratometria de Raios-X da argila Rosa natural.....	40
Figura 26 - Gráficos dos tamanhos médios das partículas em concentrações de polifosfato de sódio de: (A) livre de eletrólitos; (B) 0,01 mol.L ⁻¹ ; (C) 0,1 mol.L ⁻¹ e (D) 1,0 mol.L ⁻¹	41

Figura 27 - Curvas do logT vs tempo de dispersões da argila Rosa-Na a 1% m/V em diferentes concentrações de polifosfato de sódio.	43
Figura 28 - Curvas do logT vs tempo de dispersões da argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V em diferentes concentrações de polifosfato de sódio.	43
Figura 29 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0 de polifosfato de sódio.	44
Figura 30 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0,01 mol.L-1 de polifosfato de sódio.	45
Figura 31 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0,1 mol.L-1 de polifosfato de sódio.	46
Figura 32 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 1,0 mol.L-1 de polifosfato de sódio.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos colóides de acordo com as fases dispersas.	15
Tabela 2 - Reagentes utilizados.	31
Tabela 3 - Potencial Zeta, mobilidade e tamanho médio das partículas de quatro diferentes dispersões da argila rosa sódica a 1% m/V diluído para 0,1%.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 GERAL.....	10
2.2 ESPECÍFICOS	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1 ARGILAS E ARGILOMINERAIS	11
3.2 BENTONITA	12
3.3 PROPRIEDADES COLOIDAIAS	14
3.4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ARGILA-ÁGUA.....	20
3.5 FOSFATOS E POLIFOSFATOS.....	24
3.6 FOTOSSEDIMENTOMETRIA	26
3.7 DIFRAÇÃO DE RAIOS X	28
4 METODOLOGIA	31
4.1 PURIFICAÇÃO E ATIVAÇÃO SÓDICA	31
4.2 INCHAMENTO FOSTER	33
4.3 TESTE DE ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO.....	34
4.4 CINÉTICA DE SEDIMENTAÇÃO.....	34
4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DRX.....	35
4.6 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DLS E ZETA	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 PURIFICAÇÃO E ATIVAÇÃO SÓDICA	37
5.2 INCHAMENTO FOSTER	37
5.3 TESTE DO AZUL DE METILENO	38
5.4 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.....	39
5.5 POTENCIAL ZETA E ESPALHAMENTO DE LUZ DINÂMICO	40
5.6 FOTOSSEDIMENTOMETRIA	42
6 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

O elevado uso de fertilizantes comerciais em razão da grande demanda da produção agrícola vem causando, com o tempo, cada vez mais problemas ao solo devido a presença de elementos-traço provenientes de sua fabricação. Dentre estes elementos estão presentes impurezas provindas de reagentes utilizados no seu desenvolvimento, além de outros contaminantes oriundos de rochas e corrosão de equipamentos. Apesar de prover nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, problemas sérios podem surgir quando são adicionados metais pesados danosos ao solo (BRITO *et al.*, 2010).

A fertilização através de produtos que a realizam de forma lenta ou controlada é uma das mais modernas técnicas aplicadas atualmente para a produção de mudas. Ela se baseia na aplicação do produto no substrato, o qual libera de forma gradual, por um tempo determinado, os nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento da planta. Esse tipo de técnica traz consigo, além da distribuição mais homogênea dos nutrientes, benefícios através da redução de danos decorrentes do excesso de aplicações de fertilizantes, além dos gastos provenientes da mão-de-obra (OLIVEIRA e SCIVITTARO, 2002).

Dentre os veículos utilizados para a realização da liberação controlada de nutrientes no solo está o hidrogel. Segundo JIA e ZHU (2016), a simples mistura de um polímero com argila se mostra uma maneira ideal para o desenvolvimento de tais hidrogéis, apesar da complexidade da síntese das macromoléculas.

Apesar de materiais baseados nessa combinação, por serem considerados uma solução “verde” (não causam males ao meio ambiente) estarem sendo amplamente aplicados, pouco se sabe sobre a influência da força iônica e o acúmulo do polieletrólito na estrutura interna da argila. Porém essa informação é crucial para que se compreenda de forma satisfatória o tipo de interação entre os componentes para que se otimize o processo (FINDENIG *et al.*, 2013).

Segundo TATEYAMA *et al.* (1997), através da difratometria de raios X, é visto que ânions de polifosfato tem papel importante no controle do empilhamento de partículas (do tipo lamelares) de argila em suspensão; as quais possuem a sua face carregada negativamente devido a substituições isomórficas.

Neste trabalho foi investigado o comportamento coloidal de dispersões da argila rosa de Pedra Lavrada – PB em soluções com diferentes concentrações de polifosfato de sódio; estudo baseado em leituras de fotossedimentometria dessas dispersões e comparação com resultados de potencial Zeta, tamanho médio de partícula e sua mobilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Estudo da estabilidade coloidal da argila rosa da cidade de Pedra Lavrada – PB em soluções de diferentes concentrações de polifosfato de sódio.

2.2 ESPECÍFICOS

- Beneficiar e caracterizar a argila rosa através da sua ativação sódica, determinação do índice de inchamento e determinação do índice de capacidade de troca catiônica
- Analisar a cinética de sedimentação através da fotossedimentometria;
- Estudar o sistema argila + polifosfato através das caracterizações de difratometria de Raios-X e do espalhamento de luz dinâmico.

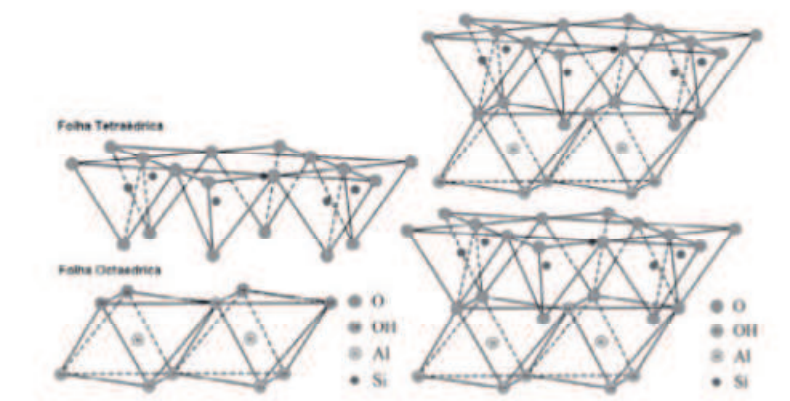
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ARGILAS E ARGILOMINERAIS

Segundo SOUZA SANTOS (1989), o termo argila designa um material terroso natural, de granulação fina e que pode adquirir uma certa plasticidade quando em contato com a água. As argilas são formadas essencialmente de silicatos hidratados de ferro, alumínio e magnésio. Esses materiais são constituídos de partículas, ou grupos de partículas, cristalinas de tamanhos na ordem de 2 μm conhecidas como argilominerais. Os diversos tipos de argila são de grande importância e possuem muitas aplicações tanto na agricultura como em diversos setores da indústria, como por exemplo a metalurgia, petróleo, cerâmica, dentre outras.

Os filossilicatos são argilominerais que podem conter dimensões na faixa de 1 a 100 nm, e são constituídos por folhas tetraédricas contínuas e hexagonalmente ordenadas de sílica condensadas com folhas octaédricas de alumina ou outros metais di e trivalentes (COELHO et al., 2007). A definição dos grupos de argilominerais é realizada de acordo com o arranjo tomado pelas folhas tetraédricas e octaédricas, as quais podem formar lamelas do tipo 1:1, onde uma folha tetraédrica liga-se a uma folha octaédrica, e do tipo 2:1 (Figura 1), onde duas folhas tetraédricas condensam uma folha octaédrica. Na constituição de uma argila pode estar presente um tipo ou uma mistura de vários tipos de argilominerais, além de possuir valor relativamente elevado de material não argiloso (superior a 10% em massa) (ROSÁRIO, 2010).

Figura 1 - Arranjo geométrico de um filossilicato do tipo 2:1.



Fonte: COELHO et al, 2007.

A Figura 2 mostra a classificação dos filossilicatos com ênfase nos argilominerais de cada grupo, apresentando também dimensões e proporções.

Figura 2 - Tabela de classificação dos filossilicatos.

Proporção	Dimensão	Grupo	Subgrupo	Octaedro	Minerais
1:1	7 Å	caulinita serpentina	caulinita serpentina	tri-	crisotilo, antigorita, lizardita, bertienita, odinita
				di-	
	9 Å	talco- pirofillita		tri- di- tri-	talco pirofillita sapiolita, hectorita
2:1	14 Å	esmectita		di-	montmorilonita, beidelita, nontronita
	14 Å		vermiculita	tri- di-	vermiculita vermiculita
	10 Å	illita		tri- di-	illita, glauconita
	10 Å	mica		tri- di-	biotita, flogopita, lepidolita muscovita, paragonita
	10 Å	mica quebradiça		di-	margarita
2:1:1	14 Å	clorita		tri-tri	nome baseado no cátion (Fe ⁺² , Mg ⁺² , Mn ⁺² , Ni ⁺²).
				di-di	Donbasita
				di-tri tri-di	Suodoita, cookeita Ex. desconhecido

Fonte: MOORE, 1993.

Os argilominerais esmectíticos apresentam dentro da sua estrutura cristalográfica o cátion alumínio substituído total ou parcialmente por Mg²⁺ ou Fe²⁺, o que gera um excesso de cargas negativas na superfície do material; essas cargas negativas são compensadas pela adsorção de cátions trocáveis, o que confere ao argilomineral a capacidade de troca catiônica (MENEZES *et al*, 2008).

3.2 BENTONITA

O nome Bentonita é proveniente de um depósito de argilas que apresentavam características tecnológicas particulares descoberto no Fort Benton, no estado norte americano do Wyoming (FERREIRA *et al*, 2008).

Bentonita é o nome dado comercialmente a argilas nas quais se contém predominantemente o argilomineral montmorilonita, que pertence ao grupo das esmectitas e determina as características físico-químicas desse material. A Bentonita pode ser tanto do tipo cálcica como do tipo sódica, e possui como característica industrialmente importante a capacidade de aumentar várias vezes o seu volume quando

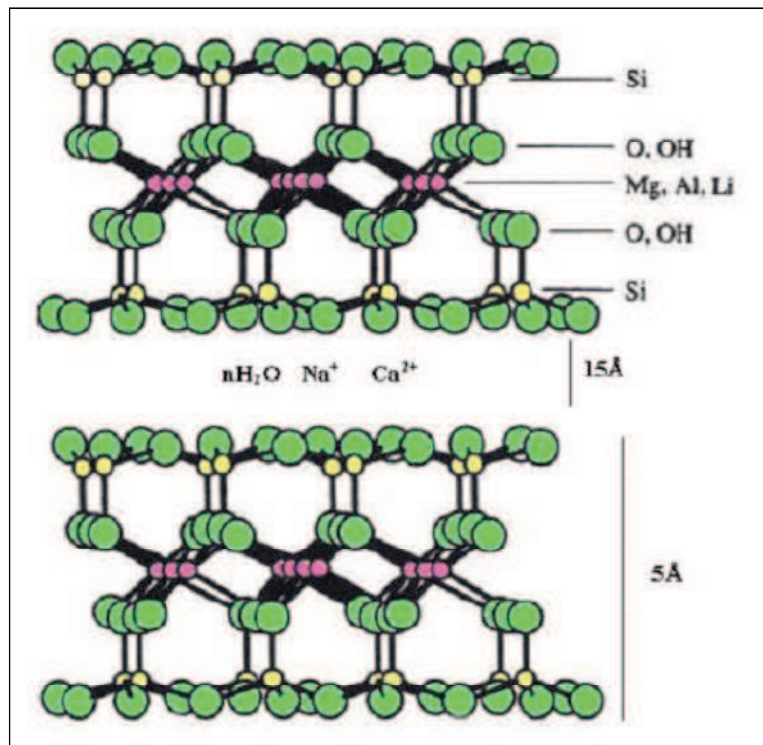
em contato com a água, sendo a Bentonita do tipo sódica a que apresenta um inchamento mais apreciável (ROSÁRIO 2010; DA LUZ e OLIVEIRA, 2008).

No Brasil, as principais jazidas estão localizadas no município de Boa Vista, pertencente ao estado da Paraíba, havendo ainda depósitos com capacidade de aproveitamento econômico no município de Vitória da Conquista na Bahia. A Bentonita proveniente de Boa Vista apresenta característica cálcica, sendo necessário seu tratamento com carbonato de sódio para que haja a ativação sódica do material; processo desenvolvido na Alemanha no ano de 1933 pela empresa Erbsloh & Co e utilizado em localidades que não dispõem da Bentonita naturalmente sódica (DA LUZ e OLIVEIRA, 2008).

Das variedades de bentonita encontrados na cidade de Boa Vista, as quais possuem uma grande diversidade de usos tecnológicos, sua maioria se exauriu devido o grande volume de extração realizado durante os anos, e atualmente apenas as variedades do tipo “chocolate”, “verde lodo” e “bofé” (nomenclatura baseada na coloração apresentada pelo material) são comercializadas, porém as mesmas apresentam um elevado grau de contaminação por outros tipos de minerais provenientes do volume elevado da exploração. Esse tipo de contaminação acaba por influenciar negativamente nas características tecnológicas apresentadas pelo material (FERREIRA *et al.*, 2008).

O argilomineral predominante na Bentonita, a montmorilonita, é um mineral hidratado e possui fórmula teórica $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, porém possui uma composição variável devido a fácil substituição na rede espacial. A montmorilonita pertence ao grupo dos filossilicatos do tipo 2:1, onde duas folhas tetraédricas de sílica englobam uma folha octaédrica de alumina. Devido as substituições isomórficas ocorridas na estrutura octaédrica, como a troca de Al^{3+} por Mg^{2+} , por exemplo, o retículo cristalino acaba por apresentar um desequilíbrio elétrico que confere carga negativa a superfície da lamela. Esse desequilíbrio faz com que as camadas de alumina adjacentes se repilam umas com as outras formando uma abertura designada espaço interlamelar, no qual há a presença de cátions trocáveis, mais comumente Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} , provenientes de substituições isomórficas (ROSÁRIO 2010, *apud* BERGAYA *et al.*, 2006).

A estrutura do argilomineral montmorilonita é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura das lamelas de Montmorilonita.

Fonte: Barbosa, 2009.

A Bentonita possui um amplo uso industrial, podendo ser utilizada como: componente tixotrópico dos fluidos ou lamas de perfuração, ligante de areias em moldes para fundição, descoloração de óleos, pelletização de minérios de ferro e manganês, dessecantes, impermeabilizantes de barragens, dentre outras aplicações. As esmectitas do tipo sódicas são as que possuem maior uso na indústria, devido a sua característica de inchamento mais observável em detrimento da bentonita cálcica (MENEZES *et al*, 2008).

3.3 PROPRIEDADES COLOIDAIAS

Sistemas coloidais são definidas como misturas heterogêneas de pelo menos duas fases distintas, com uma dessas fases na forma finamente dividida e dispersa em outra que pode ser sólida, líquida ou gasosa. Em sistemas coloidais ao menos um dos componentes da dispersão apresenta dimensão de 1 a 1000 nanômetros (1 nm = 10⁻⁹ m). Esse tipo de sistema está presente no nosso cotidiano de várias formas diferentes, como por exemplo no shampoo, creme dental, maquiagem, leite, café, manteiga, dentre

outros; além de poder ser componente principal em diferentes processos industriais, como por exemplo nos processos de separação (JUNIOR e VARANDA, 1999).

Alguns tipos de dispersões coloidais são mostradas na Tabela 2.

Tabela 1 - Classificação dos colóides de acordo com as fases dispersas.

Colóide	Fase dispersa	Fase de dispersão	Exemplo
Aerossol líquido	Líquido	Gás	Neblina, desodorante
Aerossol sólido	Sólido	Gás	Fumaça, poeira
Espuma	Gás	Líquido	Espuma de sabão e de combate a incêndio
Espuma sólida	Gás	Sólido	Isopor, poliuretana
Emulsão	Líquido	Líquido	Leite, maionese, manteiga
Emulsão sólida	Líquido	Sólido	Margarina, opala, pérola
Sol	Sólido	Líquido	Tinta, pasta de dente
Sol sólido	Sólido	Sólido	Vidro e plástico pigmentado

Fonte: JUNIOR e VARANDA, 1999.

Segundo SUEYOSHI (1994), os sistemas coloidais podem ser subdivididos basicamente em dois grupos. Os sistemas hidrofóbicos (ou liofóbicos) são aqueles em que não há afinidade pela água, no qual fazem parte, por exemplo, dispersões de alumina ou sílica em pó na água. Já os sistemas hidrofílicos (ou liofílicos) apresentam afinidade com a água ou solvente, no qual pode-se citar como exemplo as ligações peptídicas e grupos amino de proteínas. Existem vários fatores que contribuem para a natureza e comportamento de sistemas coloidais, que são: dimensões das partículas, forma e flexibilidade das partículas, propriedades superficiais, interações partícula-solvente e interações partícula-partícula. No caso dessas interações partícula-partícula, estas podem se apresentar das seguintes formas:

- Interações entre duplas camadas elétricas;
- Interações de van der Waals;

- Interação estérica;
- Flocculação por polímero;
- Interações induzidas por hidratação ou solvatação;
- Interações hidrofóbicas.

É possível, de duas formas, alterar as propriedades de dispersões coloidais, a primeira é realizando mudança na distribuição do tamanho das partículas, o que como consequência altera a área interfacial, e a segunda é alterando a natureza da própria interface através da adição de eletrólitos, polieletrólitos, que são polímeros possuidores de grupos ionizáveis em sua cadeia que são dissociados quando dissolvidos em água, ou agentes surfactantes. Outra característica da solução coloidal que outros tipos de solução não possuem é apresentar uma propriedade óptica chamada efeito Tyndall, que é um fenômeno que ocorre quando um feixe de luz incide sobre uma dispersão desse tipo, onde parte da luz é absorvida e o seu restante espalhado ou transmitido através da solução sem outras perturbações (SUEYOSHI, 1994).

O gel é um tipo de coloide no qual a interação entre as partículas e o meio onde estas estão dispersas induz o aumento da viscosidade do sistema, formando assim uma rede de partículas enfileiradas em forma de massa com característica elástica e gelatinosa ou como um sólido rígido, a exemplo da sílica gel. Uma característica interessante dos géis é que estes tem a capacidade de contrair e eliminar solventes, processo denominado sinérise (JUNIOR e VARANDA, 1999).

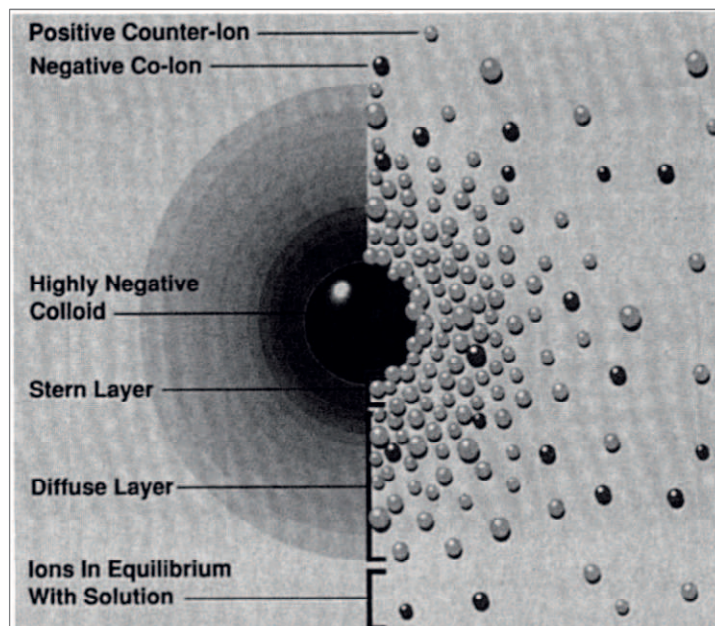
1.3.1 Dupla camada elétrica

Segundo AZEVEDO e BONUMÁ (2004), no que diz respeito a flocculação e dispersão de colóides, o que se usa para explicar esses comportamentos, baseado na teoria DLVO, é o balanço eletrostático das partículas. Dentre os modelos matemáticos que descrevem comportamentos de superfícies de partículas carregadas o mais popular é o da dupla camada (Gouy-Chapman e Stern), ilustrada na Figura 4, que diz que a extensão da dupla camada elétrica ($1/K$) é dada pela seguinte equação:

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{K''}{z^2 n}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Onde temos que K'' é uma constante, z é a valência dos contra-íons e n é a concentração eletrolítica na solução. Observa-se então que a extensão dessa dupla camada pode ser manipulada tanto pela concentração de íons na solução quanto pela valência destes, tendo este segundo parâmetro um fator de impacto maior.

Figura 4 - Dupla camada elétrica ao redor de uma partícula em solução coloidal.



Fonte: SCHRAMM, 1996.

A teoria DLVO diz que a medida que a valência e concentração dos contra-íons diminui na solução, a repulsão dos coloides aumenta devido ao aumento da dupla camada, sendo assim o fenômeno da dispersão ocorre, através dessas baixas concentrações, quando as forças repulsivas dominam sobre as atrativas; as partículas podem até se aproximar umas das outras devido ao movimento Browniano, porém não possuem energia suficiente para romper a barreira energética que as separa (AZEVEDO e BONUMÁ, 2004). Além de forças atrativas e repulsivas entre as partículas existem outras não incluídas na teoria DLVO, como por exemplo aquelas resultantes da adsorção de polímeros nas suas superfícies, as quais podem causar o efeito de inversão de cargas (AZEVEDO e BONUMÁ, 2004 *apud* GREGORY, 1989).

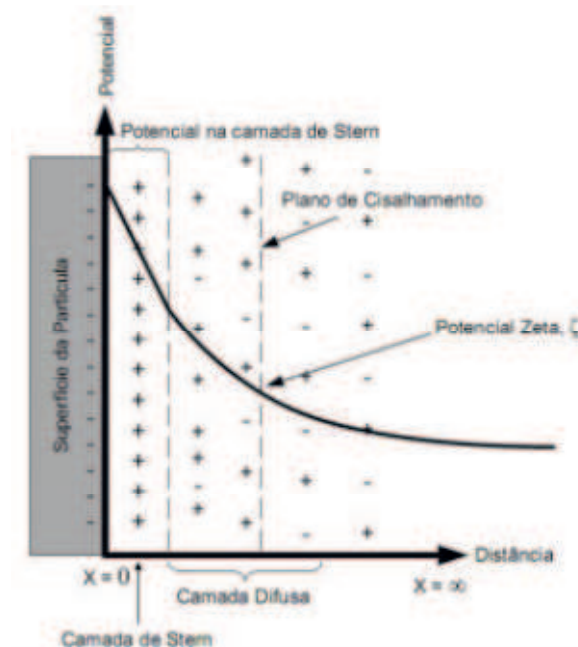
3.3.2 Potencial zeta

De maneira geral o potencial zeta é definido como sendo o potencial medido no plano de cisalhamento, presente dentro da camada difusa situada na superfície de partículas em solução coloidal (HENRIQUES *et al.*, 2011 apud HUNTER, 1993).

Segundo HUNTER (1981), propriedades importantes de sistemas coloidais são direta ou indiretamente determinadas pela carga, ou potencial, nas partículas; característica que também aponta a adsorção de íons e moléculas dipolares. A distribuição do potencial nas partículas caracteriza o comportamento de interação entre estas e em muitos casos é responsável pela estabilidade de suspensões coloidais. As técnicas mais importantes para obter informações sobre estes potenciais das partículas são: medida da diferença de potenciais voltaicos na superfície, e medida de potencial zeta.

A Figura 5 mostra o comportamento do potencial eletrostático com relação ao seu distanciamento da partícula (HENRIQUES *et al.*, 2011 apud HUNTER, 1993).

Figura 5 - Gráfico do potencial elétrico em função da distância da superfície da partícula.



Fonte: HUNTER, 1993.

Um modo de se calcular o potencial zeta de uma solução é através da equação de Smoluchowski (Equação 2), na qual o M é a mobilidade eletroforética (relação entre a mobilidade do sólido e o campo elétrico aplicado sobre este), Z é o potencial zeta, ε é a permissividade do meio eletrolítico e η a viscosidade do fluido. Essa equação é largamente utilizada no tratamento de minérios (HENRIQUES *et al.*, 2011).

$$M = \varepsilon \frac{Z}{\eta} \quad (2)$$

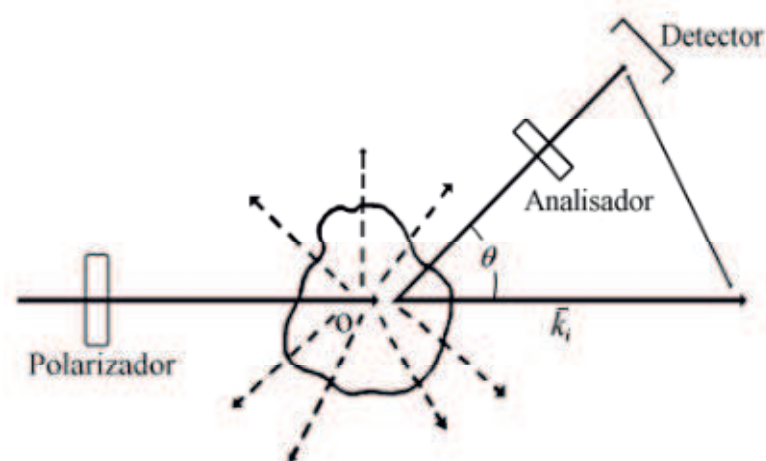
3.3.3 Espalhamento de luz dinâmico

Segundo NOMURA *et al.* (2013), a técnica de espalhamento de luz polarizada dinâmico, conhecida como DLS (Dynamic Light Scattering), tem como função a determinação do tamanho, ou seja, da dimensão, de partículas em suspensão. Esse tipo de análise tem como base a flutuação de intensidade da luz que parte de uma determinada fonte, espalhada em um certo ângulo por uma partícula (Figura 6). Essa flutuação fornece informações sobre o movimento da partícula. Em soluções diluídas e partículas em movimento Browniano, é possível determinar o coeficiente de difusão translacional (D_T). Quando pode-se considerar as partículas como sendo esféricas, o diâmetro efetivo (D_{ef}) destas é calculado pela equação de Stokes-Einstein (Equação 3), estando estas partículas em equilíbrio térmico com o solvente.

$$D_{ef} = \frac{k_B T}{3\pi\eta D_T} \quad (3)$$

Onde k_B é a constante de Boltzmann, T é a temperatura e η a viscosidade do solvente.

Figura 6 - Geometria de espalhamento no equipamento.



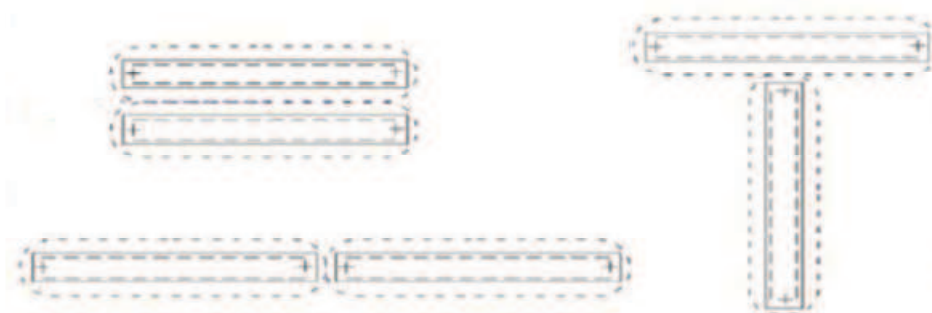
Fonte: Adaptada de RODEMBUSCH, 2001.

3.4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ARGILA-ÁGUA

Segundo SOUZA SANTOS (1989), algumas das propriedades desenvolvidas pelas argilas quando em contato com a água são: plasticidade, resistência mecânica, retração linear de secagem, compactação, tixotropia, entre outras; e o que determina essas propriedades nesse tipo de sistema são a natureza da água adsorvida e os fatores que influem na formação da camada de água adsorvida a superfície dos argilominerais. Essa água adsorvida pode ser eliminada pelo aquecimento entre 100°C e 150°C, já a água de hidroxilas só é eliminada com temperaturas superiores a 300°C. Essa água que pode ser eliminada a temperaturas relativamente baixas se classifica em três categorias: água líquida nos poros, água intercalada entre as camadas que definem a estrutura do argilomineral, e a água presente nos canais tubulares existentes entre as unidades estruturais fibrilares.

Para sistemas coloidais de argila, pode-se observar três tipos de interação entre duas lamelas, ilustradas na Figura 7, que são as interações entre suas faces (face-face), entre suas arestas (aresta-aresta) e entre a face de uma e a aresta da outra (face-aresta). Nos dois primeiros casos a interação se dá entre as duas camadas iônicas difusas, enquanto que no terceiro caso a interação é predominantemente eletrostática devido as cargas opostas (SOUZA SANTOS, 2002).

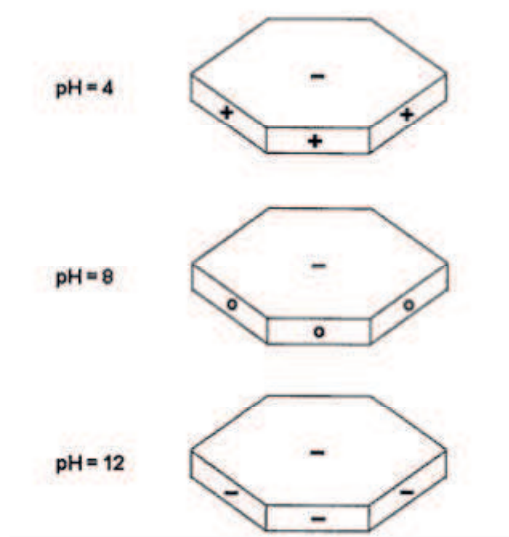
Figura 7 – Associação entre as lamelas de Montmorilonita.



Fonte: SANTOS, 2002.

As partículas lamelares da montmorilonita possuem cargas tanto na sua superfície como nas arestas, essas cargas podem ser explicadas por alguns fatores, e são mostradas na Figura 8. A superfície da partícula é permanentemente carregada negativamente, condição proveniente das substituições isomórficas, enquanto que suas arestas apresentam cargas fortemente dependentes do pH, cargas estas desenvolvidas nas hidroxilas lá presentes (TOMBÁ CZ; SZEKERES, 2004).

Figura 8 - Cargas superficiais de partículas com diferentes valores de pH.



Fonte: DELAVI, 2011.

Quando se adiciona um excesso de ácido na suspensão resulta-se em uma diminuição do pH desta, o que faz com que as arestas das lamelas se tornem positivamente carregadas. Devido a essa carga, por ação eletrostática, há a tendência de

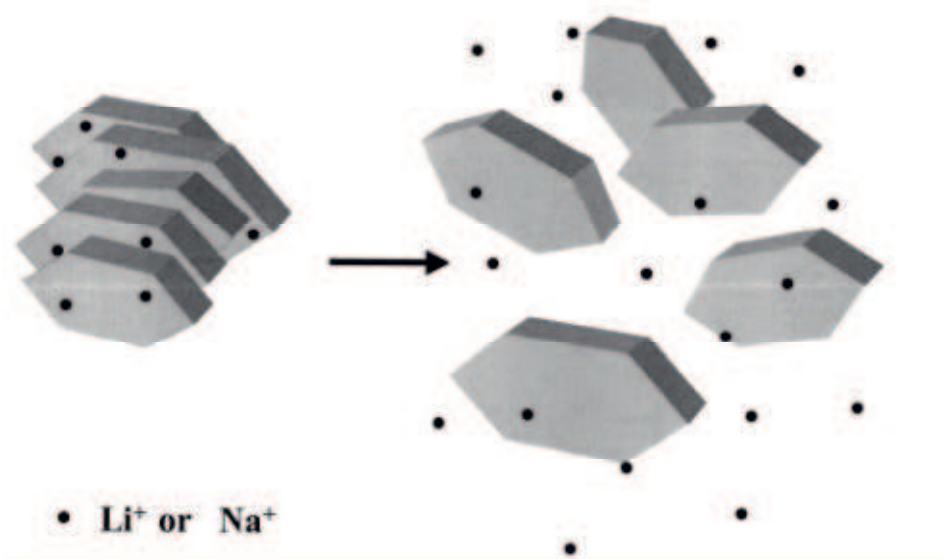
aproximação destas arestas com a face de lamelas vizinhas, ainda que estas estejam pouco carregadas. Esse tipo de interação promove a formação de uma estrutura conhecida como casa de cartas, do inglês *house of cards*, característica de sistemas gelificados (NETO, 1999).

3.4.1 Inchamento

Em estado natural, os solos argilosos apresentam água nos vazios entre as partículas, a qual se apresenta de forma adsorvida na superfície das partículas dos argilominerais na forma de oxidrilas ou na estrutura cristalina dessas partículas como hidroxilas (OH^-). Quando se coloca argilominerais montmoriloníticos em água os cátions trocáveis se hidratam, entrando água e aumentando o espaçamento basal, condição na qual os cátions interlamelares estão susceptíveis a serem trocados de forma estequiométrica por outros cátions. Essa característica tem a capacidade de alterar propriedades reológicas da suspensão, como por exemplo o aumento da sua viscosidade; além de ser afetada negativamente pelo aumento da salinidade desta suspensão. A espessura da camada varia de acordo com o cátion interlamelar, quantidade disponível de água ou de outras moléculas polares. O íon sódio permite uma maior espessura a camada de água a um menor grau de orientação, enquanto que o íon lítio permite uma camada espessa bem orientada (SOUZA SANTOS, 1989; SHAIKH et al., 2017).

Segundo SOUZA SANTOS (1975), a adsorção contínua de água pode afastar as camadas do material de tal forma que as interações eletrostáticas se tornam fracas a ponto de causar o desfolhamento individualizado das suas partículas (Figura 9), assim, cada unidade pode se dispersar no meio líquido como partícula de dimensão coloidal negativamente carregada em sua superfície, e balanceada pela fixação de cátion sódio. Após a secagem, essas partículas se reagrupam formando novamente os aglomerados.

Figura 9 - Delaminação de partículas de montmorilonita sódica em água.



Fonte: G. LAGALY; S. ZIESMER, 2003

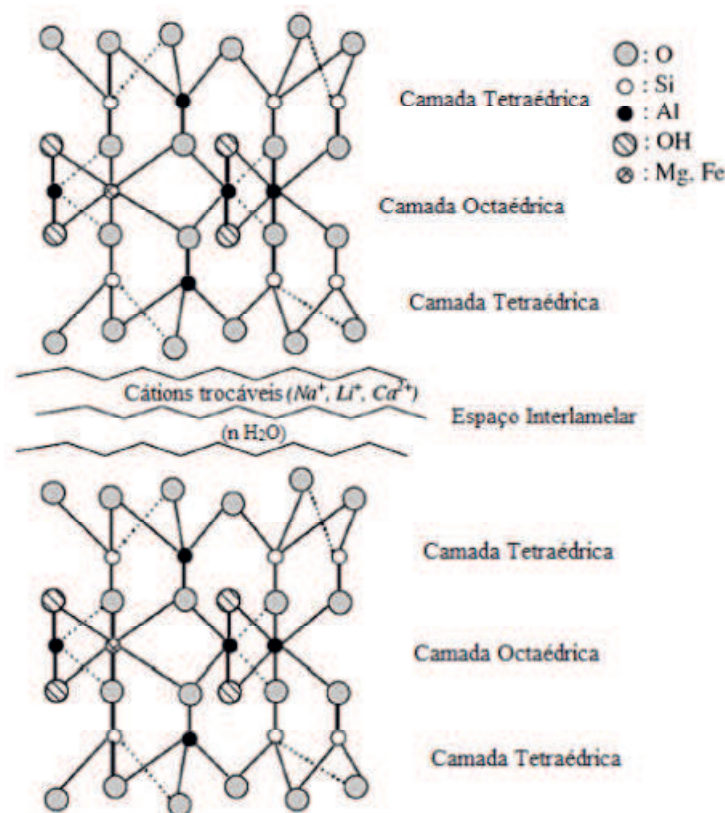
1.4.2 Capacidade de troca catiônica

A quantidade de cátions trocáveis retidos na estrutura de argilas é consequência direta da estequiometria da composição das suas camadas, ou seja, característica do argilomineral predominante do material. A capacidade de troca catiônica pode ser definida então, de maneira geral, como o número de cargas catiônicas retidas em uma determinada massa de amostra do argilomineral; esse valor é geralmente expresso em unidades de meq/g ou meq/100g. Esse parâmetro é de muita importância, pois é o que determina no material sua capacidade de adsorção por interação eletrostática, ou seja, a quantidade máxima de cátions que podem ser retidos eletrostaticamente pela estrutura do mineral. As reações de troca catiônica podem ser tratadas termodinamicamente assim como qualquer outra reação, podendo também definir uma constante de equilíbrio K_{eq} . Dos métodos utilizados para a realização da estimativa dessa capacidade de troca catiônica, um dos mais conhecidos é a utilização do cátion orgânico azul de metileno, o qual é também utilizado para estimar a área superficial total da partícula (BERGAYA *et al.*, 2012).

Segundo BERGAYA *et al.* (2012), a capacidade de troca catiônica pode causar a interação das partículas com polímeros pela presença de grupos carregados positivamente nestes, através da adsorção em esmectitas causada pela interação eletrostática com camadas de caráter negativo, o que desenvolve uma força motriz que

favorece a retenção polimérica. Porém, essa adsorção é desfavorecida pela presença de moléculas orgânicas volumosas, causando-se assim um fenômeno de intercalação. A Figura 10 ilustra a localização dos cátions trocáveis na estrutura da Bentonita.

Figura 10 - Estrutura da Bentonita.



Fonte: Adaptada de SHAIKH et al., 2017.

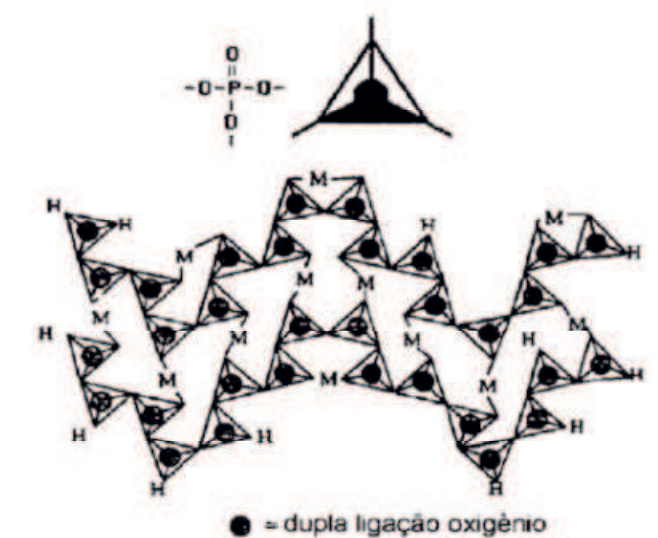
3.5 FOSFATOS E POLIFOSFATOS

Segundo MASSON (1996), os fosfatos podem ser definidos como sendo um grupo de compostos inorgânicos de fácil obtenção que contém ligações do tipo P-O (fósforo-oxigênio). Os fosfatos podem se encontrar tanto com ligações do tipo P-O, apenas, como substituídos, onde alguns oxigênios são substituídos por outros átomos ou grupos de átomos. Esse tipo de composto possui propriedades únicas, além de ser encontrado em grande quantidade na natureza na forma mineral ou de biomateriais. Esses compostos são uma ótima fonte de matéria inorgânica, e apresentam características pouco comuns, como por exemplo o fato de existirem tanto na forma de monômeros como na de oligômeros e polímeros de cadeias abertas e fechadas. Os

fosfatos também formam uma variedade de sólidos cristalinos, vítreos e resistentes a cristalização de géis; além de serem constituintes de organismos vivos, o que caracteriza esse tipo de composto como livre de toxicidade e garante seu descarte no solo com pequenas restrições. Dentre as aplicações desses compostos estão: tratamento de água, indústria alimentícia, produção de vidros resistentes ao calor, agentes dispersantes, agente anti-chama em tintas e vernizes, etc.

Devido a valência do átomo de fósforo (5+), este, na molécula de fosfato, encontra-se no centro de um tetraedro que possui em seus vértices os quatro átomos de oxigênio. Como um desses oxigênios está conectado ao fósforo por uma dupla ligação, apenas os outros três estão susceptíveis a formar ligações com outros tetraedros, essa característica favorece a formação de estruturas planares, como mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Arranjo planar de cadeias de polifosfato interligadas.



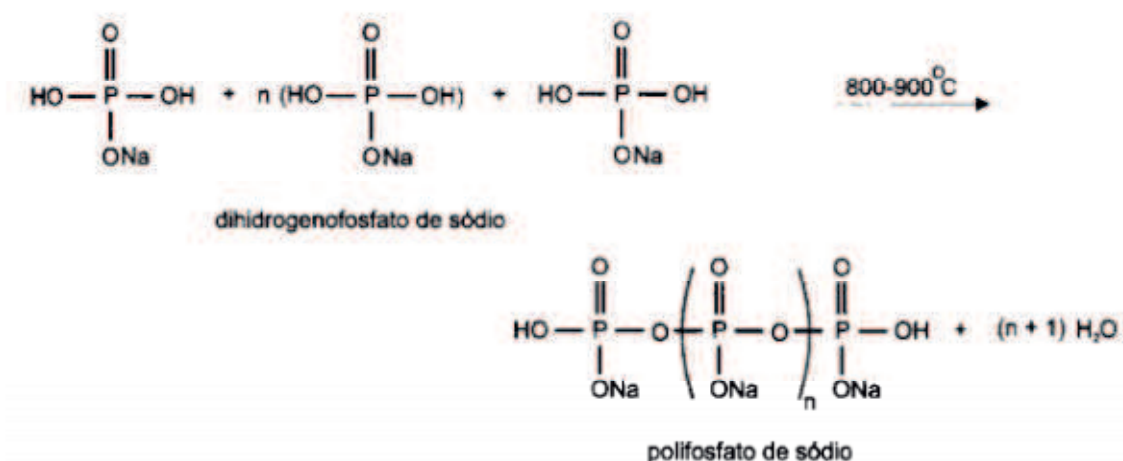
Fonte: Adaptada de MASSON, 1996.

Os compostos que tem como característica estruturas poliméricas constituídas de tetraedros de fosfatos, ligados entre si por átomos de oxigênio, são denominados fosfatos condensados. Essa classe de polímeros tem a característica de conservar suas propriedades constitucionais quando em solução, sofrendo pouca degradação por hidrólise. Esse tipo de composto pode ser classificado em três diferentes grupos, os polifosfatos, os metafosfatos e os ultrafosfatos. Os polifosfatos tem como característica serem formados por ligações progressivas lineares de tetraedros de fosfatos através do compartilhamento de um ou dois dos seus átomos de oxigênio, a sua fórmula geral é

$(P_nO_{n+1})^{(n+2)-}$. Os metafosfatos apresentam a formação de anéis em sua condensação, e tem como fórmula geral $P_nO_{3n}^{n-}$. Já os ultrafosfatos tem como característica o fato de um ou mais tetraedros de fosfato compartilharem três de seus átomos de oxigênio com outros grupos fosfato, e tem como fórmula geral $P_nO_{3n+m}^{(n+2m)-}$, com $1 \geq m \leq n/2$ (MASSON, 1996).

Ainda segundo MASSON (1996), compostos com ligações P-O-P, onde um grupo PO_3^- corresponde a unidade monomérica, pode ser obtido por diversos processos. Como exemplo pode-se citar a polimerização por condensação de dihidrogenofosfato de sódio, ilustrado na Figura 12. Há uma transição nas propriedades físicas de modo contínuo nas soluções de polifosfato quando as espécies passam de baixos para altos pesos moleculares. A existência desse tipo de cadeia polimérica em sistemas com polidispersão de ânions pode justificar a formação de vidros e géis.

Figura 12 - Polimerização por condensação do dihidrogenofosfato de sódio.



Fonte: Adaptada de MASSON, 1996.

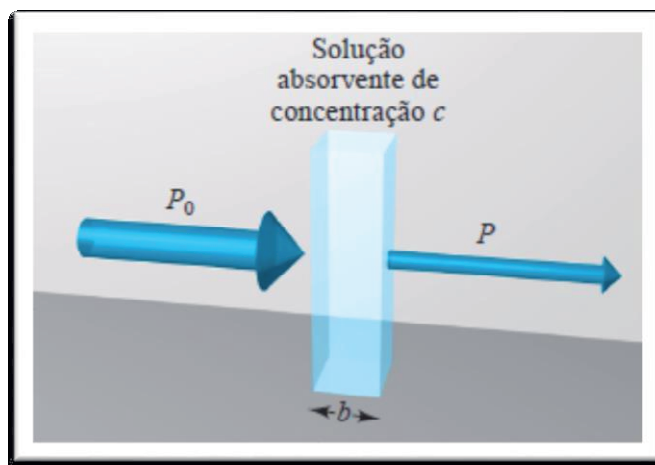
3.6 FOTOSSEDIMENTOMETRIA

O termo sedimentometria refere-se a uma análise granulométrica, no que diz respeito ao comportamento de sedimentação de partículas imersas em um fluido por ação da gravidade. Quando se fala de fotossedimentometria, entende-se que essa análise de comportamento é realizada através de medidas espectroscópicas, que se baseiam na interação da radiação com a matéria no decorrer de um determinado espaço de tempo, e na qual se aplicam os conceitos tanto de transmitância como de absorbância.

3.6.1 Transmitância e absorbância

A Lei de absorção (Lei de Lambert-Beer), ou somente Lei de Beer, explica quantitativamente como a atenuação de uma radiação depende tanto da concentração das moléculas absorventes como do caminho no qual se ocorre essa absorção, ou seja, para uma solução de determinada concentração de um analito, quanto maior for o caminho óptico, maior será a quantidade de centros absorventes, esquema mostrado na Figura 13. A transmitância dessa solução é dada em porcentagem e representa a fração de radiação transmitida por ela, em outras palavras, é a fração de radiação que consegue atravessá-la. Essa transmitância é expressa como sendo $T = P/P_0$, onde P_0 representa a potência radiante do feixe e P a potência lida após a absorção da amostra (SKOOG *et al*, 2006).

Figura 13 - Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente.



Fonte: SKOOG, 2006.

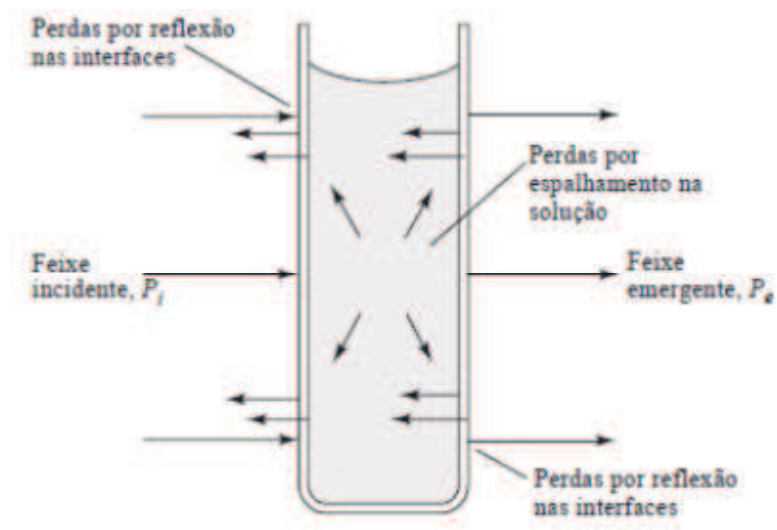
Segundo SKOOG (2006), a absorbância de uma solução se relaciona com a sua transmitância de forma logarítmica, como mostrado na Equação 4, dessa forma pode-se observar que quando o valor de absorbância desta solução aumenta, sua transmitância diminui.

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} \quad (4)$$

Tendo em vista que em medidas de transmitância e absorbância podem ocorrer perdas por reflexão ou espalhamento devido a diversos motivos (Figura 14), compensa-se esses efeitos através da comparação com a potência que atravessa uma célula idêntica contendo somente o solvente dos reagentes denominado “branco”. A Lei de Beer que considera tanto o caminho óptico (b) como a concentração da espécie absorvente (c) é expressa na Equação 5, onde o termo ϵ refere-se a absorvidade molar (SKOOG, 2006).

$$A = \epsilon bc \quad (5)$$

Figura 14 - Perdas por reflexão e espalhamento.



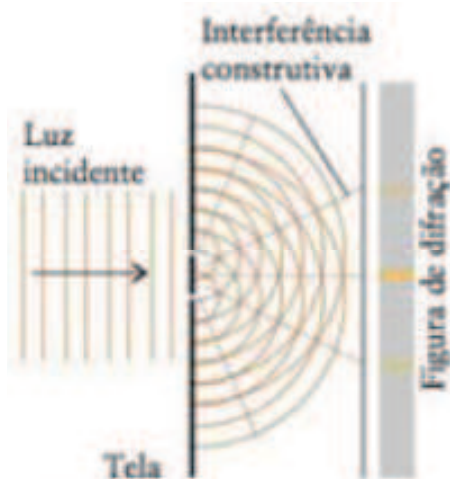
Fonte: SKOOG, 2006.

3.7 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

O termo difração se refere a uma interferência entre ondas que surge quando um objeto obstrui seu caminho. Para compreender o que é a difração de raios X é necessário conhecer esse tipo de interferência, a qual teve suas primeiras demonstrações através do experimento de Young, ilustrado na Figura 15, onde ao atravessar duas fendas, a luz produziu um padrão em uma tela. Através desse experimento, observou-se que se tivéssemos apenas o padrão e soubéssemos o comprimento de onda da luz e a distância entre as telas de detecção e a que contém as fendas, seria possível determinar o espaçamento exato entre essas duas fendas. Partindo desse princípio, uma difração de

raios X trata-se de uma versão mais elaborada do experimento de Young, onde as camadas regulares dos átomos de um cristal agem como uma coleção tridimensional de fendas que apresentam um padrão de difração variável a medida que o cristal gira e essas fendas são colocadas em um novo arranjo (ATKINS, 2012).

Figura 15 - Ilustração do experimento de Young.



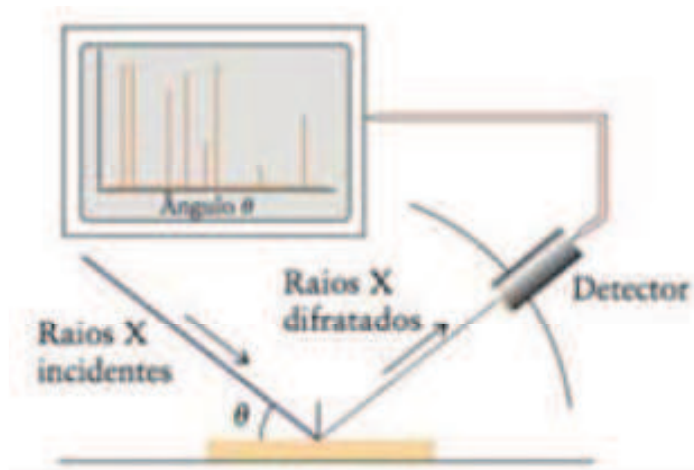
Fonte: ATKINS, 2012.

Segundo ATKINS (2012), para esse tipo de caracterização são utilizados os raios X devido ao fato de que radiação nessa faixa de comprimento de onda são comparáveis aos espaçamentos característicos de camadas de átomos de um cristal, as quais possuem esse espaçamento na ordem de 100 pm ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$). Na técnica experimental, tem-se que os raios X são gerados através da aceleração de elétrons a velocidades muito altas e esse feixe atinge um alvo metálico; essa desaceleração violenta causada pelo choque geram uma radiação que cobre um amplo intervalo de frequências (inclusive os raios X). Para gerar um comprimento de onda bem definido, faz-se uso de um segundo mecanismo que funciona através da troca de elétrons na camada de valência do átomo. Na técnica de difração de pó, mostrada na Figura 16, os raios X são direcionados a uma amostra pulverizada e contida em um suporte; mede-se então a intensidade da difração pelo movimento do detector em diferentes ângulos. Assim, o padrão que é obtido é característico daquela amostra e pode ser identificado através de comparação com outros padrões presentes em uma base de dados. A equação de Bragg (Equação 6) é a base usada na análise dos resultados de um experimento de difração de pó, a qual relaciona os ângulos θ , onde ocorre interferência construtiva para

raios X de comprimento de onda λ , com o espaçamento d das camadas de átomos da amostra.

$$2d \sin\theta = \lambda \quad (6)$$

Figura 16 - Esquema ilustrado da técnica de difração de pó.



Fonte: ATKINS, 2012.

4 METODOLOGIA

Nesta seção serão descritos os procedimentos metodológicos utilizados para o beneficiamento e caracterização da argila rosa.

Na Tabela 3, estão listados os reagentes utilizados nas análises.

Tabela 2 - Reagentes utilizados.

Reagentes	Fórmula Química	Concentração (mol.L ⁻¹)	Fabricante
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃	1,9	Vetec
Hexametafosfato de sódio	(NaPO ₃) _n	0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1,0; 3,0	Vetec
Ácido Sulfúrico	H ₂ SO ₄	0,1	Vetec
Azul de metileno	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	0,01	Synth

Fonte: Própria, 2017.

4.1 PURIFICAÇÃO E ATIVAÇÃO SÓDICA

Para realizar a purificação e ativação sódica, inicialmente fez-se necessário a trituração do material que se encontrava em forma bruta. Realizou-se essa trituração com auxílio de almofariz e pistilo (Figura 17). Na sequência alcançou-se a granulometria do material triturado com uma série de peneiras de diferentes aberturas, finalizando com a mais fina, do tipo tamiz, de abertura ABNT n° 200 (Figura 17), o que corresponde a 0,074 mm.

Figura 17 - Aparelhagem utilizada para trituração e tamisação da argila.



Fonte: Própria, 2018.

Preparou-se então 200 mL de uma solução de carbonato de sódio na concentração de 1,9 mol/L, na qual dispersou-se a argila previamente peneirada. Preparou-se essa dispersão em uma proporção de 20% m/V, onde adicionou-se 40 gramas da argila aos 200 mL da solução contida em um béquer de 500 mL. Após preparada, vedou-se a abertura do béquer com plástico filme e levou-se a dispersão para agitação, como mostra a Figura 18, por um intervalo de tempo de uma hora; e ao final desse tempo deixou-se a dispersão em repouso por 24 horas. Realizou-se um ciclo com a dispersão durante seis dias, onde após o descanso de 24 horas levava-se para agitação por cinco minutos em agitador magnético.

Figura 18 - Agitação da dispersão em agitador magnético.



Fonte: Própria, 2018.

Passadas as últimas 24 horas de repouso, ao final do sexto dia de ciclo repouso-agitação, pode-se observar que a dispersão apresentou três fases bem definidas, uma sólida com partículas de maior diâmetro no fundo do béquer, outra fase sólida com partículas de menor diâmetro, se comparado com as partículas do fundo; e o líquido sobrenadante. Retirou-se, com ajuda de pipetas e pipetador, os 2/3 superiores da fase sólida da dispersão, os quais correspondiam a fase com partículas mais finas, ou seja, a fase inchada livre de componentes diferentes do desejado. Transferiu-se essa fase inchada para tubos de centrífuga nos quais realizou-se a centrifugação do material no equipamento de modelo CT-0603 (Figura 19). Repetiu-se essa centrifugação aferindo-se sempre o pH do líquido sobrenadante ao final de cada rodada de 10 minutos. O processo seguiu até o ponto em que se observou uma tendência constante no valor do pH das

amostras. Ao final do processo de centrifugação, levou-se o material espalhado na superfície de vidros de relógio para ser seco. Realizou-se a secagem em estufa na temperatura de 60°C por um período de 24 horas. Após seca, triturou-se a amostra com almofariz e pistilo e na sequência peneirou-se em peneira do tipo tamiz com abertura ABNT n° 200; identificando-se como sendo *argila rosa sódica* e armazenando-se em seguida.

Figura 19 - Equipamento utilizado para a centrifugação do material.



Fonte: Própria, 2018.

4.2 INCHAMENTO FOSTER

Para determinar a capacidade de inchamento da argila seguiu-se a metodologia adotada por Foster e desenvolvida por SILVA (2010). Inicialmente, em um vidro relógio, pesou-se 1 g do material em 10 porções de 0,1 g. Na sequência avolumou-se uma proveta com 100 mL de água destilada. Adicionou-se então de forma lenta e gradual as porções de 0,1 g da argila em intervalos de 5 minutos. Após completa adição, vedou-se a proveta com plástico filme, identificou-se e reservou-se o sistema de qualquer perturbação por um período de 24 horas. Passado o tempo de repouso, observou-se e anotou-se o volume, medido de forma direta, ocupado pelo material na proveta, sendo este o seu valor de inchamento. A metodologia foi realizada para a argila em suas condições naturais, e para a mesma passada pelo tratamento com carbonato de sódio.

4.3 TESTE DE ADSORÇÃO DO AZUL DE METILENO

Realizou-se o teste que mensura a quantidade de cátions trocáveis da argila baseando-se na norma ASTM C 837-84 (Standard Test Method for Methylene Blue Index of Clay), onde inicialmente preparou-se uma dispersão com 2 g da argila rosa em 300 mL de água destilada e ajustou-se o pH desta para um valor entre 2,5 e 3,8 com ácido sulfúrico de concentração igual a $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Em seguida, com o sistema sob agitação, realizou-se adições de 5 mL, com o auxílio de uma bureta, de uma solução de azul de metileno com concentração de $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ em intervalos de 2 minutos, coletando-se sempre cerca de 20 segundos antes de cada nova adição, com um pipetador de volume fixo de 20 μL , uma alíquota dessa dispersão e dispôs-se essa sobre um papel de filtro. Repetiu-se a adição do volume da solução de azul de metileno até o ponto em que conseguiu-se observar a formação de um halo de contorno definido e diâmetro constante na gota disposta sobre o papel de filtro.

4.4 CINÉTICA DE SEDIMENTAÇÃO

Inicialmente preparou-se uma solução de polifosfato de sódio na concentração de 3 mol/L, e a partir desta, por diluição, preparou-se mais cinco soluções nas concentrações de 1,0 mol/L, 0,5 mol/L, 0,1 mol/L, 0,01 mol/L e 0,001 mol/L. Em seguida pesou-se, em tubos de ensaio, a massa de argila necessária para ser dispersa em sistemas de 0,5 %, 1,0% e 3,0%, sendo essa relação de porcentagem para o volume fixo de 10 mL da solução de polifosfato de sódio. Realizou-se o procedimento para cada concentração de argila (série de sete tubos de ensaio) em dias diferentes, porém seguindo-se rigorosamente os mesmos passos. Após realizadas as dispersões, agitou-se por 10 minutos em agitador magnético e deixou-se em repouso por 24 horas. Passado o tempo de repouso, agitou-se cada amostra por 5 minutos, transferiu-se um volume previamente calculado para um béquer contendo água destilada afim de realizar-se uma diluição para a concentração de 0,1%, agitando-se na sequência por 3 a 5 minutos. Após a diluição, transferiu-se 2,2 mL (limite mínimo de altura da coluna de amostra na cubeta para que o feixe do laser pudesse atingi-la, e para a uniformização do teor de partículas) desta para uma cubeta de quartzo, colocou-se esse recipiente no equipamento e realizou-se a leitura. Repetiu-se o procedimento para todas as amostras daquela concentração de

argila. Realizou-se a análise fotossedimentométrica através da leitura das amostras no espectrofotômetro, configurando-se para que este fizesse uma varredura em um intervalo de comprimento de onda de 895 nm até 905 nm, com 100 repetições de 18 segundos.

4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DRX

Para a preparação das amostras para a difratometria de raios-X, visando obter informações a respeito da composição cristalina destas, realizou-se inicialmente a dispersão em tubos de centrífuga nas condições desejadas que foram: argila rosa em condições naturais, argila rosa tratada com carbonato de sódio, dispersão a 1% m/V de argila rosa em 0,01 mol.L⁻¹ de polifosfato de sódio, e dispersão a 1% m/V de argila rosa em 0,1 mol.L⁻¹ de polifosfato de sódio. Após realizadas as dispersões, agitou-se os sistemas por 10 minutos e deixou-se em repouso por 24 horas. Passado o tempo de repouso, agitou-se por mais 5 minutos e deixou-se em repouso por mais 24 horas. Após o novo repouso levou-se aos tubos para centrífuga, onde realizou-se o processo por um tempo de 10 minutos visando separar-se ao máximo a parte sólida da dispersão do sobrenadante. Descartou-se então o sobrenadante e transferiu-se a parte sólida para vidros de relógio, levando em seguida para secar em estufa sob temperatura de 60°C por um tempo de 24 horas. Após seca, triturou-se a amostra em almofariz e passou-se em malha ABNT n° 325. Em granulometria adequada, transferiu-se a amostra para eppendorfs devidamente identificados (Figura 20) e levou-se para a análise.

Figura 20 - Eppendorfs contendo as amostras para DRX.

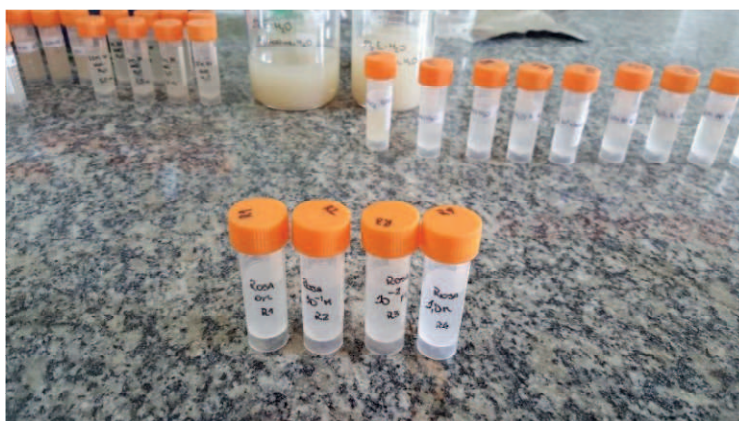


Fonte: Própria, 2018.

4.6 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DLS E ZETA

Realizou-se a preparação das amostras para caracterização por espalhamento de luz dinâmico e seu potencial zeta inicialmente em tubos de ensaio nas concentrações desejadas, de modo análogo ao procedimento de fotosedimentometria, deixando-se estas, na sequência, de repouso por um período de 24 horas. Após esse repouso, agitou-se as dispersões por um tempo de 5 minutos. Em seguida, transferiu-se volumes previamente calculados para béquers contendo água destilada afim de realizar-se diluições para a concentração de 0,1%; agitou-se essas diluições por um tempo de 3 a 5 minutos e transferiu-se para recipientes de volume igual a 5 mL previamente identificados (Figura 21), nos quais levou-se para análise.

Figura 21 - Tubos contendo as amostras enviadas para caracterização por DLS.



Fonte: Própria, 2018.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PURIFICAÇÃO E ATIVAÇÃO SÓDICA

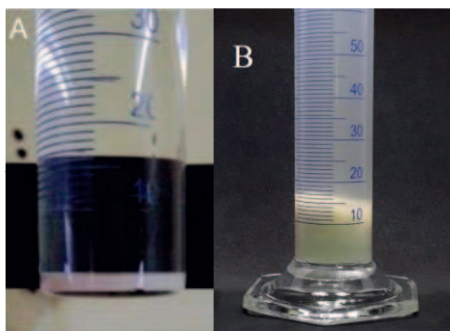
A Bentonita do tipo rosa chegou ao Laboratório de Pesquisas em Ciências Ambientais (LAPECA) da Universidade Estadual da Paraíba proveniente do município de Pedra Lavrada, pertencente ao estado da Paraíba, na forma de agregados grandes, ou seja, na sua forma bruta. Para que se realizasse a desaglomeração de forma manual do material, foi utilizado um conjunto almofariz-pistilo de porcelana com uma espessura considerável, tendo em vista a rigidez apresentada por este.

Para a realizar o peneiramento do material, após a sua trituração foram utilizadas peneiras plásticas com diferentes aberturas, compradas em um mercado da cidade de Campina Grande. Esse procedimento favoreceu a obtenção da argila em uma granulometria adequada para que essa fosse passada através da peneira do tipo tamiz com abertura ABNT n° 200, alcançando-se assim o tamanho de partícula padrão encontrado em literaturas que já utilizaram esse tipo de material.

5.2 INCHAMENTO FOSTER

Através do método desenvolvido por SILVA (2010), baseado na metodologia de Foster, observou-se para a argila rosa em condições naturais um inchamento no valor de 2,5 mL/g, enquanto que a mesma argila submetida ao tratamento sódico apresentou inchamento igual a 17,5 mL/g. Os resultados podem ser observados na Figura 22.

Figura 22 - Resultados de inchamento da argila rosa natural (A) e da argila rosa tratada com carbonato de sódio (B).



Fonte: Própria, 2018.

Após realizado o procedimento experimental pôde-se observar que a argila rosa natural, baseado no valor de 2,5 mL/g obtido, não apresentou inchamento; já essa mesma argila passada pelo tratamento sódico apresentou um inchamento considerado alto. Isso indica que o processo de ativação sódica exerceu grande influência sobre a propriedade de inchamento do material, ou seja, a remoção das impurezas através desse método afetou de maneira significativa a expansividade da argila de forma a aumentar o espaçamento das lamelas e o poder de hidratação dos cátions interlamelares.

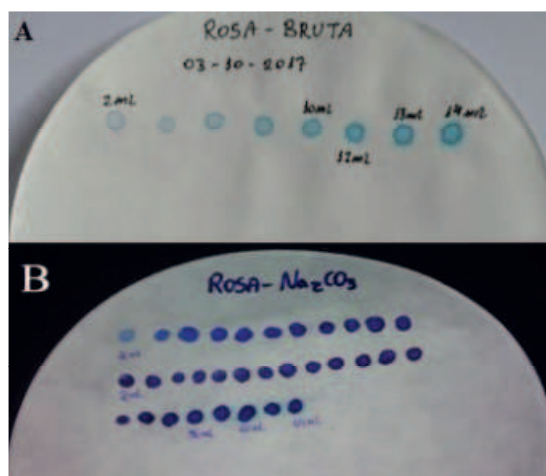
Assim, devido ao comportamento obtido, para a realização dos experimentos foi utilizada a argila rosa que passou pelo tratamento com carbonato de sódio.

5.3 TESTE DO AZUL DE METILENO

No teste do azul de metileno, descrito na metodologia utilizada, é possível encontrar um índice diretamente relacionado com a capacidade de troca catiônica da argila em estudo e não esse parâmetro diretamente, devido ao fato de que se está utilizando uma molécula orgânica grande para substituir um cátion trocável.

Os resultados obtidos, mostrados na figura 23, não mostram o resultado exato de CTC, mas sim em um intervalo de valores baseados na formação de um halo na gota sobre o papel de filtro de coloração e diâmetro bem definidos.

Figura 23 - Resultados do teste do azul de metileno para a argila rosa natural (bruta) (A) e para essa mesma argila passada pelo tratamento com carbonato de sódio (B).



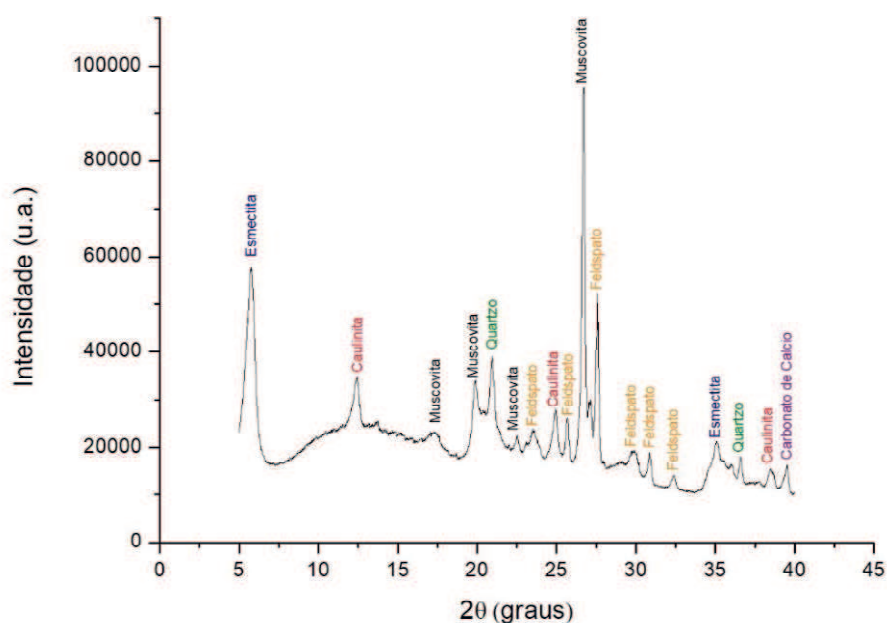
Fonte: Própria, 2017; Própria, 2018.

Pode-se observar que para a argila rosa natural obteve-se uma faixa de valores de CTC entre 16 e 20 meq/100g, baseados no início da formação do halo e o ponto em que este se mostrou mais visível e constante; já para a argila rosa sódica, os valores obtidos de CTC ficaram na faixa de 56 a 60 meq/100g, seguindo os mesmos critérios. Com esses resultados, nos quais obteve-se um aumento considerável de CTC, pode-se concluir que o objetivo de aumentar o teor de sódio na amostra a partir do tratamento com o carbonato de sódio foi alcançado, pelo fato da troca de cátions ocorrer da forma esperada.

5.4 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

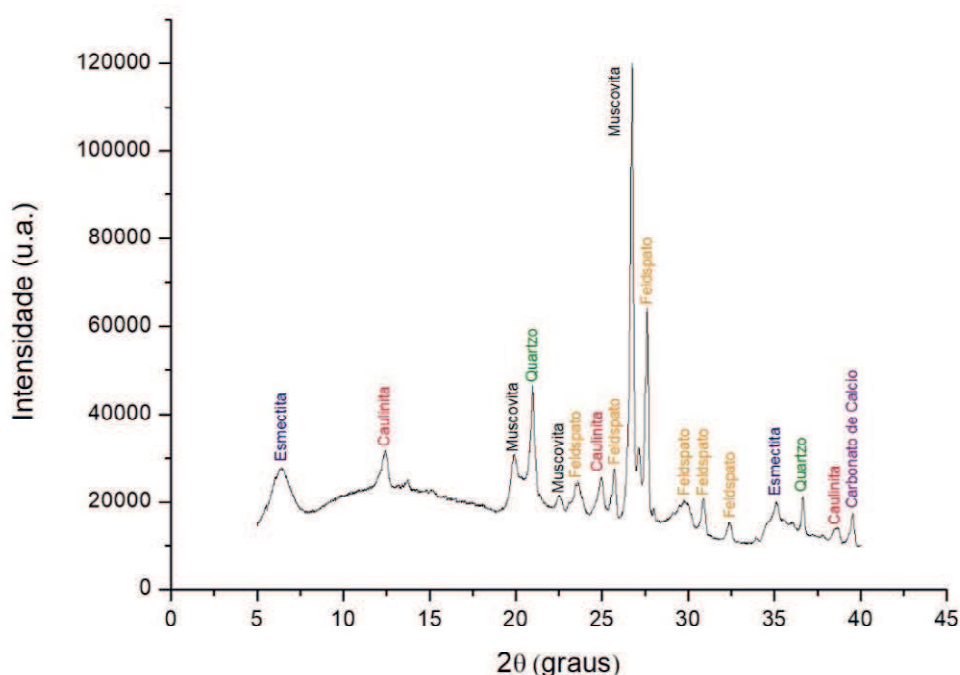
Os resultados de DRX tanto para a argila rosa natural quanto para a mesma argila tratada com carbonato de sódio, mostrados nas figuras 24 e 25 respectivamente, apontam que dentre os componentes de ambas as amostras estão, com maior significância, os minerais esmectita (JCPDS 00-058-2011), caulinita (JCPDS 14-0164), muscovita (JCPDS 00-058-2036) e feldspato (JCPDS 31-0966).

Figura 24 - Difractometria de Raios-X da argila Rosa natural.



Fonte: Própria, 2018.

Figura 25 - Difratometria de Raios-X da argila Rosa natural.



Fonte: Própria, 2018.

Baseado nos resultados dos DRX, também pode-se observar que o tratamento com carbonato de sódio aplicado a argila rosa foi capaz de diminuir a intensidade do plano basal e alarga-lo, o que comprova a característica de sodificação do sistema devido a este tratamento.

5.5 POTENCIAL ZETA E ESPALHAMENTO DE LUZ POLARIZADA DINÂMICO

Para realizar as caracterizações de DLS, potencial Zeta e mobilidade foram selecionadas, baseadas no seu comportamento, na concentração de 1% de argila rosa sódica diluída para 0,1%, quatro diferentes concentrações de polifosfato: livre de eletrólitos, 0,01 mol.L⁻¹, 0,1 mol.L⁻¹ e 1,0 mol.L⁻¹. O fato de realizar a diluição visou atender o regime de Stokes de concentração de partículas.

A Tabela 4 apresenta os valores de potencial Zeta, mobilidade e o tamanho médio das partículas de quatro diferentes dispersões da argila rosa sódica a 1% m/V diluída para 0,1% m/V em soluções de polifosfato de sódio; sendo estas soluções com as concentrações citadas.

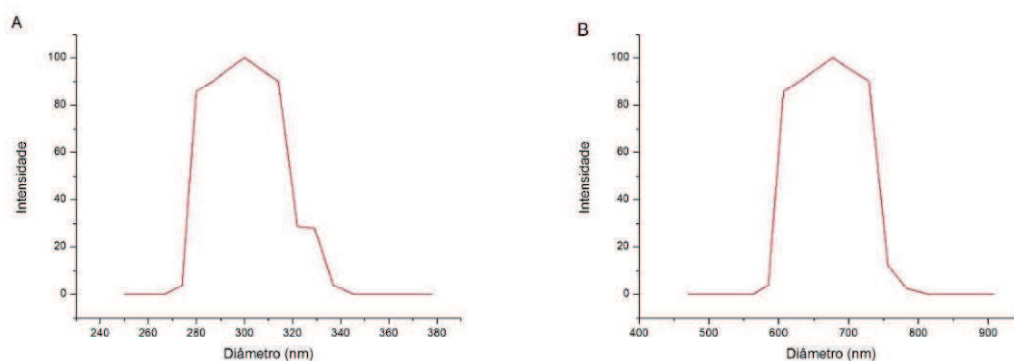
Tabela 3 - Potencial Zeta, mobilidade e tamanho médio das partículas de quatro diferentes dispersões da argila rosa sódica a 1% m/V diluído para 0,1%.

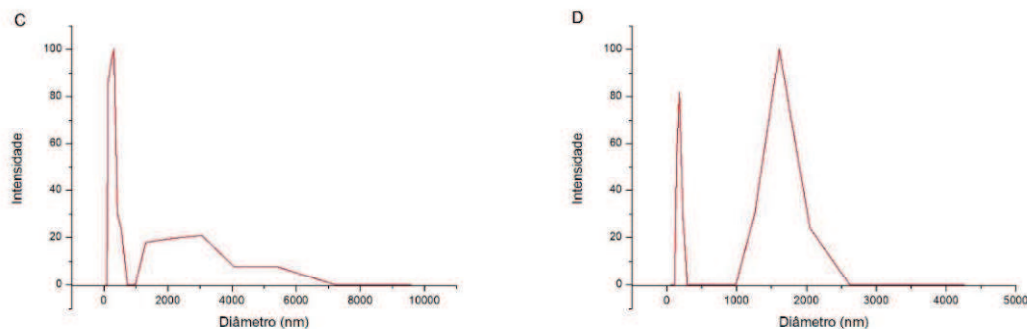
Concentração de Polifosfato de Sódio (mol.L^{-1})	Potencial Zeta (mV)	Mobilidade (V/cm)	Diâmetro médio (população 1) (nm)	Diâmetro médio (população 2) (nm)
0	-48,91	-3,82	300	-
0,01	-60,60	-4,74	677	-
0,1	-52,76	-4,12	313	3060
1,0	-48,10	-3,76	180	1610

Fonte: Própria, 2018.

Os comportamentos gráficos dos tamanhos médios de cada concentração de polifosfato de sódio estão ilustrados na Figura 26.

Figura 26 - Gráficos dos tamanhos médios das partículas em concentrações de polifosfato de sódio de: (A) livre de eletrólitos; (B) $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$; (C) $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e (D) $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$.





Fonte: Própria, 2018.

5.6 FOTOSSEDIMENTOMETRIA

Na análise fotossedimentométrica foi utilizada a argila rosa passada por ativação sódica, tendo em vista seu melhor comportamento mostrado através dos testes de inchamento e do azul de metileno.

Para determinar o comprimento de onda ideal a realização desta leitura, ou seja, uma faixa de comprimentos de onda onde não ocorra o fenômeno de absorção eletrônica, foram realizadas varreduras de 450 nm a 1050 nm com dispersões de argila com e sem eletrólito. Para a argila em estudo, o comprimento de onda de 900 nm foi observado como ideal e utilizado para as leituras.

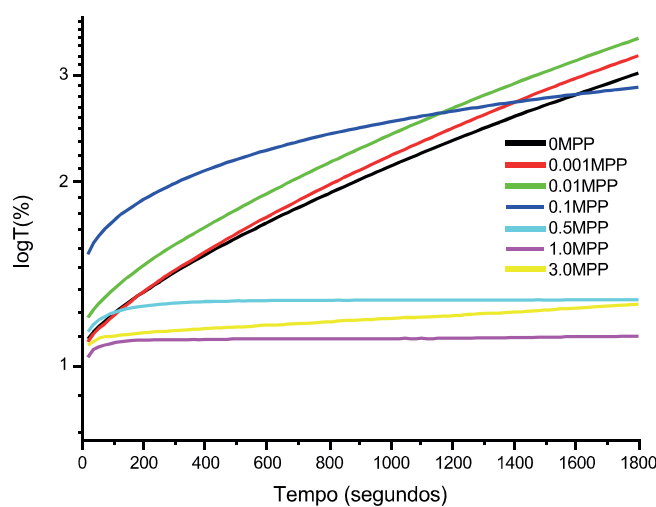
A análise da cinética de sedimentação característica dos sistemas foi feita relacionando-se o comportamento das curvas apresentadas no gráfico com o tamanho das partículas das suspensões em diferentes populações de dois diferentes períodos de tempo, os primeiros 400 segundos e os últimos 400 segundos. Para tal, foram comparados os valores dos coeficientes angulares dessas curvas nos dois tempos com o resultado obtido de DLS referente a cada suspensão.

Justifica-se essa comparação com o fato de que as partículas são geometricamente semelhantes e possuem uma velocidade terminal de sedimentação dada pela Lei de Stokes (Equação 7), na qual, considerando que a força gravitacional, densidade e viscosidade permanecem constantes durante essa sedimentação, pode-se dizer que a velocidade de sedimentação é proporcional ao quadrado do diâmetro da partícula. Como esse regime possui um coeficiente angular que se relaciona diretamente com a velocidade de sedimentação, pode-se dizer também que essa velocidade é proporcional ao quadrado do coeficiente angular de cada regime.

$$V = \frac{(\rho_s - \rho_f)g d^2}{18\eta} \quad (7)$$

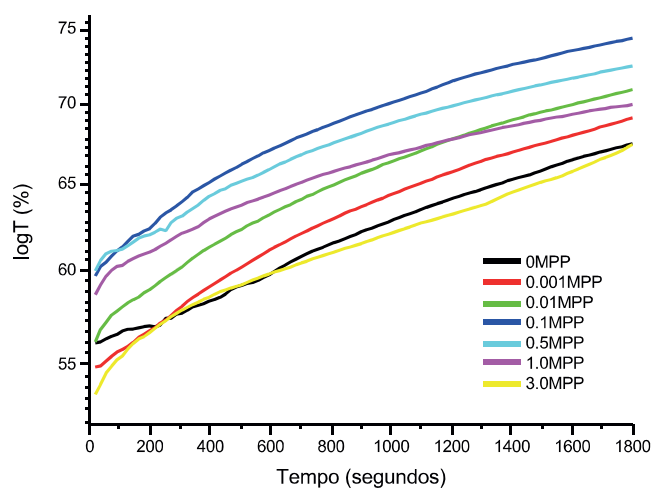
A Figura 27 mostra o gráfico correspondente a concentração de 1% m/V, e a Figura 28 o gráfico dessa mesma concentração de argila rosa sódica diluída para 0,1% m/V em 7 diferentes concentrações de soluções de polifosfato de sódio.

Figura 27 - Curvas do logT vs tempo de dispersões da argila Rosa-Na a 1% m/V em diferentes concentrações de polifosfato de sódio.



Fonte: Própria, 2018.

Figura 28 - Curvas do logT vs tempo de dispersões da argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V em diferentes concentrações de polifosfato de sódio.



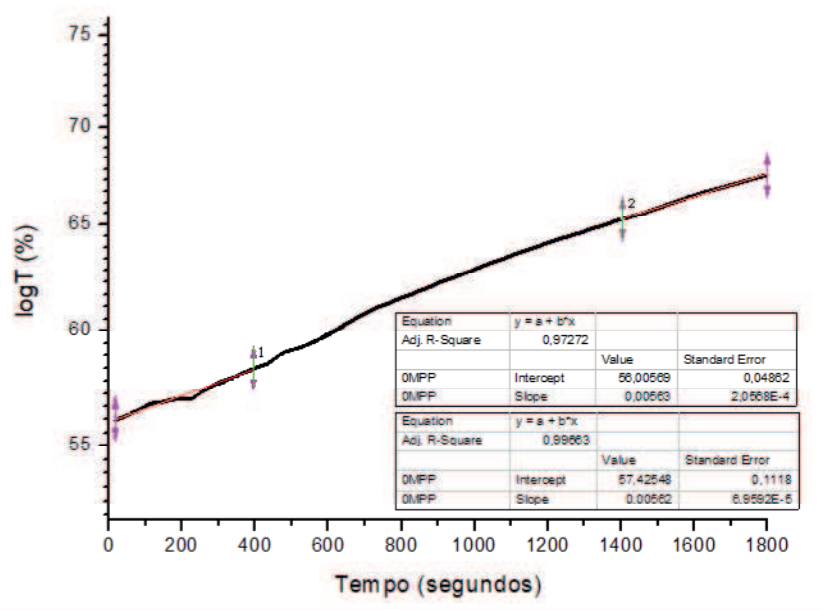
Fonte: Própria, 2018.

Para melhor análise, atendendo as exigências do regime de Stokes, foram selecionadas na concentração de 1% m/V de argila rosa sódica diluída para 0,1% m/V, as curvas correspondentes a 0 de polifosfato, ou seja, livre de eletrólitos, 0,01 mol.L⁻¹, 0,1 mol.L⁻¹ e 1,0 mol.L⁻¹ de polifosfato.

Baseado nas curvas de concentrações selecionadas para caracterização, pode-se observar que o aumento do potencial Zeta indica que o polifosfato está de fato adsorvendo na argila, ou seja, essa adsorção ocasiona o aumento na carga negativa da partícula; característica confirmada em todas as curvas com exceção da de 1,0 mol.L⁻¹.

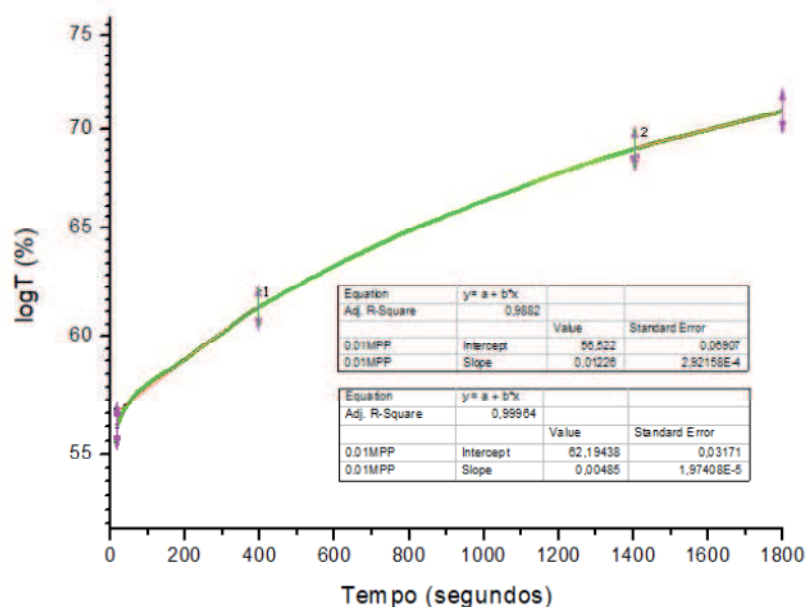
Ao realizar a determinação dos coeficientes angulares da curva de 0 polifosfato (livre de eletrólitos) (Figura 29) para os 400 primeiros e 400 últimos segundos, obteve-se os valores de 0,00563 e 0,00562 respectivamente. Esses valores, por serem muito próximos, podem ser associados a apenas uma população de partículas com praticamente a mesma velocidade de sedimentação. Já no caso da curva de 0,01 mol.L⁻¹ (Figura 30), observa-se dois valores distintos de coeficiente angular: 0,01226 para os primeiros 400 segundos e 0,00485 para os últimos 400 segundos, indicando a presença de duas populações de tamanhos de partículas que sedimentam em velocidades diferentes.

Figura 29 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0 de polifosfato de sódio.



Fonte: Própria, 2018.

Figura 30 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0,01 mol.L⁻¹ de polifosfato de sódio.

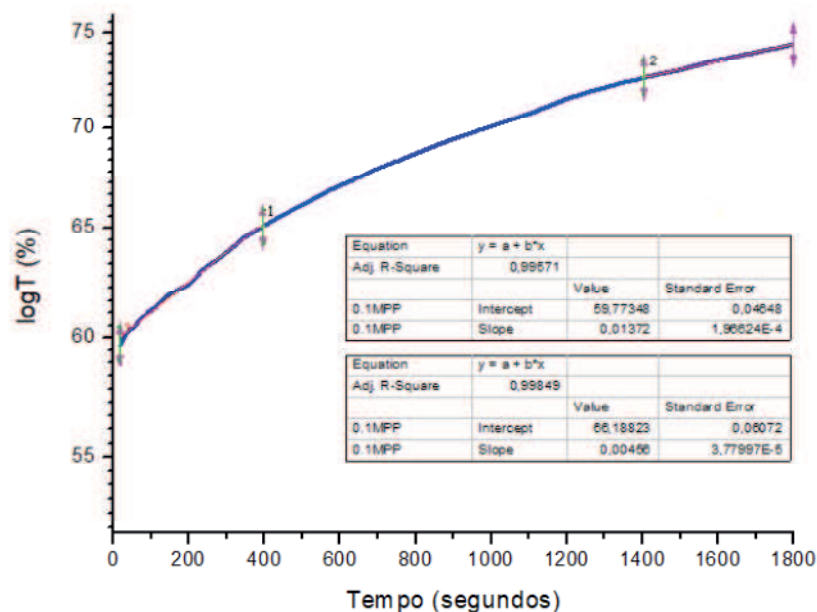


Fonte: Própria, 2018.

Ao comparar as duas curvas pôde-se observar um aumento do valor de mobilidade das partículas, que passou de -3,82 V/cm para -4,74 V/cm, fator que pode ser associado ao aumento do potencial Zeta, que passou de -48,91 mV para -60,60 mV, pois mesmo que as partículas tenham ficado mais pesadas devido a agregação do polifosfato, estas também ficaram mais carregadas eletricamente em suas superfícies.

Para a curva correspondente a concentração de 0,1 mol.L⁻¹ (Figura 31), após determinação do valor dos coeficientes angulares inicial e final, que foram de 0,01372 e 0,00456 respectivamente, pôde-se observar também a presença de duas populações distintas com diferentes tamanhos de partículas e consecutiva diferente velocidade de sedimentação. Esse comportamento pôde ser comprovado visualmente no item (C) da Figura 26, onde há a presença de dois picos distintos no gráfico do tamanho médio de partícula. Esses picos representam os dois diferentes tamanhos de partícula mais representativos na amostra, o de maior intensidade com partículas de 313 nm e o de menor intensidade com partículas de 3060 nm.

Figura 31 - Curva do $\log T$ vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 0,1 mol.L⁻¹ de polifosfato de sódio.

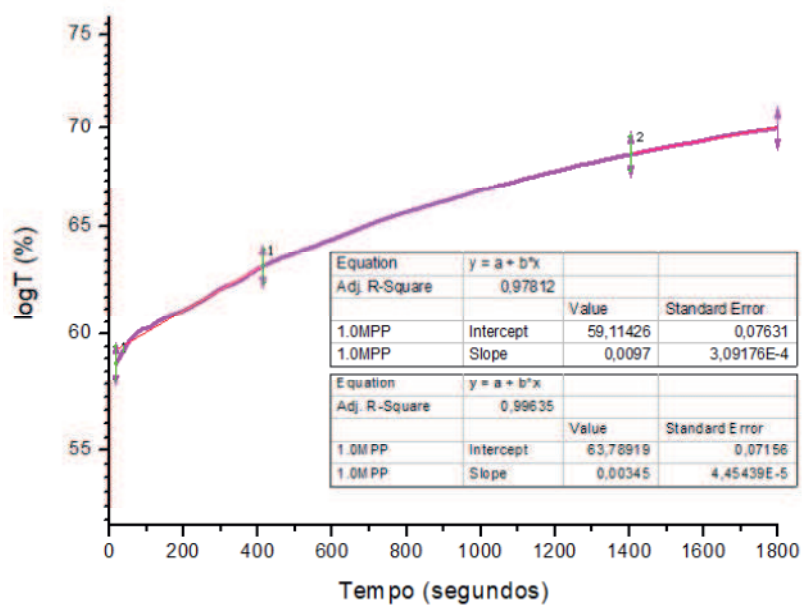


Fonte: Própria, 2018.

Quando se comparam as curvas de 0 polifosfato e a correspondente a 0,1 mol.L⁻¹ pode-se observar que não houve grande aumento no tamanho de partícula, e por isso também não houve aumento considerável na mobilidade destas bem como em seu potencial Zeta. Apesar do sistema ter presença de partículas grandes, estas não correspondem nem a metade do total na amostra.

A curva correspondente a concentração de 1,0 mol.L⁻¹ de polifosfato (Figura 32), assim como a de 0,01 mol.L⁻¹ e 0,1 mol.L⁻¹ apresentou dois valores distintos de coeficiente angular para os 400 primeiros e 400 últimos segundos de leitura, os quais foram 0,0097 e 0,00345 respectivamente. Esse comportamento, como já visto, aponta para a presença de duas diferentes populações de tamanhos de partículas, as quais estão representadas no item (D) da Figura 26, porém, diferentemente da amostra com concentração de 0,1 mol.L⁻¹ de polifosfato, apresenta intensidades parecidas. Os picos representam, então, duas populações com tamanhos de 180 nm e 1610 nm em proporções muito parecidas na amostra.

Figura 32 - Curva do logT vs tempo da dispersão de argila Rosa-Na a 1% m/V diluída para 0,1% m/V na concentração 1,0 mol.L-1 de polifosfato de sódio.



Fonte: Própria, 2018.

Para essa curva, pode-se afirmar que a pequena redução na mobilidade das partículas está associada a um balanço do equilíbrio entre os tamanhos de partículas proveniente do aumento de agregação proporcionado pela adição do polifosfato de sódio no meio.

6 CONCLUSÃO

O resultado de inchamento baseado método de Foster indicou que o tratamento com carbonato de sódio foi satisfatório para que houvesse, de fato, a remoção das impurezas do material a ponto de aumentar o poder de hidratação dos cátions interlamelares.

A determinação do índice de azul de metileno confirmou a maior capacidade de troca catiônica obtida após a ativação sódica.

Os difratogramas de Raios-X mostraram a presença de esmectita, caulinita e outros minerais associados.

A partir dos resultados da fotossedimentometria e as caracterizações de potencial zeta e DLS, pôde-se comprovar e concluir que o comportamento das dispersões é influenciado diretamente pela concentração do eletrólito no meio; onde o aumento dessa concentração promove a agregação das partículas de modo que há um aumento na quantidade de partículas consideradas grandes (que por esse motivo apresentam rápida sedimentação), quando comparadas com a proporção de partículas pequenas no meio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.B.Henriques, P.M.T. de Azevedo, G.R. da Silva, A.E.C. Peres. **Caracterização e estudo do potencial zeta de hematitas Originárias do quadrilátero ferrífero e carajás**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Salvador, 2011.

ATKINS, Peter William; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

AZEVEDO, Antonio Carlos de; BONUMÁ, Angélica Silveira. **Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.2, p.609-617, mar-abr, 2004.

BARBOSA, E. M. C. **Materiais mistos nanoestruturados baseados em argilas bentonita e cobalto coloidal**. P. 70. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO-PR, 2009.

BERGAYA, Faïza; JABER, Maguy; LAMBERT, Jean-françois. **Clays and Clay Minerals as Layered Nanofillers for (Bio) Polymers**. In: **AVÉROUS, L.; POLLET, E. Environmental Silicate Nano-Biocomposites**. London: Springer-verlag, 2012. Cap. 3. p. 59-60.

BERGAYA, F.; THENG, B. K. G.; LAGALY, G. **Handbook of clay science, Vol. 1: Developments in clay science**. Amsterdam: Elsevier Science, 2006.

BRITO, L. T. de L.; MELO, R. F. de; GIONGO, V. (Ed.). **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 3, p. 55-99.

COELHO, Antônio C. V. C.; SANTOS, Pérsio S.; SANTOS, Helena S. **Argilas especiais: argilas quimicamente modificadas - uma revisão**. Química Nova, v. 30, n. 5, 2007.

CRISTIANO, Adão Benvindo da Luz; OLIVEIRA. **Argila – Bentonita**. Rio de Janeiro, 2008.

DELAVI, Deyse Gonzaga Gomes. **Defloculação de suspensões aquosas de argila e sua correlação com caracterizações químicas e de superfície**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FERREIRA, H. S., MENEZES, R. R., MARTINS, A. B., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., **Análise de influência do tratamento de purificação no comportamento do inchamento de argilas organofílicas em meios não aquosos**. Cerâmica, v. 54, p. 77-78, 2008.

GREGORY, J. **Fundamentals of flocculation. Critical Reviews in Environmental Control**. v.19, n.3, p.185-230, 1989.

Hunter, R.J. **Introduction to modern colloid Science**. Oxford University Press, Oxford, NY, 1993.

HUNTER, R.J. **Zeta Potential in Colloid Science – Principles and Applications**. University of Sydney. Academic Press. Sydney, 1981.

JIA, Yong-Guang; ZHU, X. X. **Nanocomposite hydrogels of LAPONITE® mixed with polymers bearing dopamine and cholic acid pendants**. Royal Society of Chemistry, 2016.

JUNIOR, Miguel Jafelicci; VARANDA, Laudemir Carlos. **O mundo dos colóides**. Química Nova na Escola, Nº 9, 1999.

KARGL, Rupert; STANA-KLEINCHEK, Karin; RIBITSCH, Volker. **Interaction and Structure in Polyelectrolyte/Clay Multilayers: A QCM-D Study**. Division of Surface and Interface Science, Institute of Chemistry, Karl-Franzens-University Graz, Heinrichstrasse 28, A-8010 Graz, Austria, Laboratory for Characterization and Processing of Polymers, University of Maribor, Smetanova, Maribor, Slovenia, 2000.

MASSON, Nancy Cristina. **Géis, vidros e compósitos de polifosfato de cálcio, de ferro (III) e mistos**. 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MENEZES, R. R., ÁVILA JÚNIOR, M. M., SANTANA, L. N. L., NEVES G. A., FERREIRA, H. C. **Comportamento de expansão de argilas bentoníticas organofílicas do estado da Paraíba**. Cerâmica 54, 152-159, 2008.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**. Oxford New York: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1997.

NETO, J. B. R. **Mecanismos de defloculação de suspensões coloidais de argilas**. 1999. 138 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

NOMURA, et al. **Espalhamento Dinâmico de Luz**. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B. **Comparação de custos de sistemas de adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 74).

ROSÁRIO, Jeane de Almeida do. **Obtenção de material antimicrobiano a partir de bentonita nacional tratada com prata**. 2010. 117 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SANTOS, Pêrsio de Souza. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1989. 1 v.

SCHRAMM, Laurier L. **Suspensions: Basic Principles. Suspensions: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry**, [s.l.], p.3-44, 5 maio 1996.

SHIFA, M.R. et al. **Influence of polyelectrolytes and other polymer complexes on the flocculation and rheological behaviors of clay minerals: A comprehensive review. Separation and Purification Technology**. 187 (2017) 137–161. ELSEVIER, 2017.

SILVA, Laura Abreu da. **Desenvolvimento do processo de obtenção da bentonita organofílica de moçambique: síntese e caracterização**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SKOOG, A. D.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, R. S. **Fundamentos de Química Analítica**. Thonson, Learning, Tradução da 8ª ed. Norte Americana, 2006.

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**. Editora Edgard Blücher – 2ª edição – São Paulo, 2002.

SUEYOSHI, Kenny Hiroyassu. **Propriedades coloidais e reológicas de suspensões de bentonita ativadas com poliacrilamida e cloreto de sódio**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Petróleo.

TATEYAMA, Hiroshi et al. X-ray diffraction and rheology study of highly ordered clay platelet alignment in aqueous solutions of sodium tripolyphosphate. *Langmuir*, v. 13, n. 9, p.2440-2446, mar. 1997.

TOMBÁ CZ, Etelka; SZEKERES, Márta. **Colloidal behavior of aqueous montmorillonite suspensions: the specific role of pH in the presence of indifferent electrolytes**. *Applied Clay Science* 27, 2004.