



**ELETROQUÍMICA E MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS EM SOLOS ARENOSOS
COM LAMELAS DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

AMANDA JUCILENE ALVES PEREIRA

GARANHUNS

JULHO - 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

**ELETROQUÍMICA E MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS EM SOLOS ARENOSOS
COM LAMELAS DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Agrícola.

AMANDA JUCILENE ALVES PEREIRA

Orientador: Alexandre Tavares da Rocha

Co- Orientador: Marcelo Metri Corrêa

GARANHUNS

JULHO – 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns - PE, Brasil

P227e Pereira, Amanda Jucilene Alves

Eletroquímica e movimentação de íons em solos arenosos com lamelas do Agreste de Pernambuco / Amanda Jucilene Alves Pereira. - 2017.

f.

Orientador: Alexandre Tavares da Rocha.

Coorientadores: Marcelo Metri Corrêa.

Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós - Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns, BR - PE, 2017.

Inclui referências

1. Solo 2. Química do solo 3. Gesso 4. Solos arenosos
I. Rocha, Alexandre Tavares da, orient. II. Corrêa, Marcelo Metri, coorient. III. Título

CDD 631.4

**ELETROQUÍMICA E MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS EM SOLOS ARENOSOS
COM LAMELAS DO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

AMANDA JUCILENE ALVES PEREIRA

Data da defesa: 14/07/2017

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dr. Erika Valente Medeiros- (Presidente)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. João Tiago Correia Oliveira
(Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Marcelo Metri Corrêa
(Examinador Interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

“Dedico esse trabalho aos meus amados pais,
José Maria Alves Pereira e Marilene Pereira da Silva”

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por todas as graças a mim concedidas inclusive essa.

Aos meus pais **José Maria Alves Pereira** e **Marilene Pereira da Silva**, por todo amor, carinho, dedicação, paciência e infinitas coisas boas que não tenho palavras para descrever.

Ao meu noivo **Alberto da Silva Melo**, por todo amor, compreensão e companheirismo.

Aos meus familiares, avó, tios, tias, primos, por toda a base e por serem uma ótima família em todas horas apesar da distância.

Aos meus amigos de graduação **José Aislan** e **Tássio Mauricio** que mesmo depois de tanto tempo e distância continuam sendo meus melhores amigos.

Ao professor **Antônio Ricardo** pelos tantos conselhos e ensinamentos sobre a vida.

Ao meu orientador **Alexandre Tavares da Rocha** pela paciência, orientação e dedicação.

Ao meu co-orientador **Marcelo Metri** pela orientação e risadas.

A **José Cicero** (Sítio Várzea) que disponibilizou o espaço para fonte de estudo e pesquisa.

A **Universidade Federal Rural de Pernambuco** – UFRPE por toda oportunidade.

A **Unidade Acadêmica de Garanhuns** – UAG que me deu estrutura e suporte para realização desse trabalho.

A **FACEPE** e a **CAPES** pelo incentivo financeiro.

Agradeço a todas pessoas que passaram pela minha vida e contribuíram de alguma forma para minha formação.

RESUMO

Os Neossolos Regolíticos frequentemente apresentam diferentes respostas quanto ao seu potencial produtivo, quando registrada a presença de lamelas. Lamela é um termo atribuído a faixa de acumulação de constituintes granulométricos finos em sedimentos arenosos. Com a acumulação de argila em faixas todos os atributos eletroquímicos do solo podem ser alterados, modificando a capacidade produtiva desses solos. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar e qualificar os atributos eletroquímicos de solos arenosos com lamelas de uma topossequência do Agreste Meridional de Pernambuco, bem como observar a influência desses atributos na movimentação de íons através da aplicação de gesso. Para isso, foram selecionados 3 perfis (P1, P2 e P3) marcados pela ocorrência de lamelas, e um perfil sem lamelas (P4) em uma topossequência no município de São João. Em P1, P2 e P3 foi realizada a caracterização eletroquímica e em P1, P3 e P4 foi avaliada a influência das lamelas na movimentação dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , por meio da aplicação de doses de gesso em microparcelas de 2 m². O delineamento experimental foi em blocos ao acaso sendo os tratamentos compostos por doses de gesso definidas a partir de níveis da necessidades de gesso (NG), ou seja, instalando microparcelas de 2 m², e aplicando cinco níveis de gesso, em quatro repetições: T1= ,0%, ,50%, ,100%, ,150% e 200% da NG, distribuídas aleatoriamente nos blocos em quatro repetições.. Aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação de gesso foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm por meio de tradagens e, aos 90 dias foi realizado uma coleta das lamelas e entrelamelas para a determinação de cálcio trocável e sulfato. Os dados foram submetidos à análise de correlação linear para a comparação das variáveis eletroquímicas, análise multivariada e análise de regressão para avaliação das variáveis em função das doses de gesso adicionadas. Com base na caracterização eletroquímica, o PCZ das lamelas e entrelamelas foram inferiores aos encontrados na camada 0-20 em todos perfis. O PESN das lamelas obtido por meio de titulação, apresentou valores entre 8,4 e 2,8. E a partir daí as lamelas foram responsáveis por gerar potencial elétrico e carga líquida predominantemente negativos. O incremento de cargas negativas pelas lamelas, gerou uma CTC maior que a observada na camada 0-20 em todos os perfis. O estudo da interferência das lamelas na movimentação de íons ao longo dos perfis mostrou que as mesmas funcionaram como barreiras para a movimentação de Ca^{2+} após os tratamentos com gesso.

Palavra-chave: Carga líquida do solo; Neossolo; Gesso.

ABSTRACT

Regolithic Neosols often present different productive potential associated with lamellae occurrence. Lamellae is a term attributed to the accumulation range of fine granulometric constituents in sandy sediments, clays and, or humic substances. With the accumulation of these materials all the electrochemical attributes of the soil can be altered, modifying the productive capacity of these soils. In view of the above, the objective of this work was to quantify and qualify the electrochemical attributes of sandy soils with lamellae from a toposequence of the Agreste of Pernambuco, as well as to observe the influence of these attributes on the movement of ions through the application of gypsum. For this, 3 profiles (P1, P2 and P3) marked by the occurrence of lamellae, and a profile without lamellae (P4) were selected in a toposequence in the city of São João, Pernambuco. In P1, P2 and P3 the electrochemical characterization was performed and P1, P3 and P4, the influence of lamellae on Ca^{2+} and SO_4^{2-} ions was evaluated by the application of gypsum doses in microparcels of 2 m². The experimental design was a randomized complete block design, with the treatments composed of gypsum doses defined by gypsum requirements (NG), that is, by installing microparcels of 2 m² and applying five levels of gypsum in four replications: 50%, 100%, 150% and 200% of NG, randomly distributed in the blocks in four replicates. At 30, 60 and 90 days after the application of gypsum were collected by soil samples At depths of 0-20 cm and 20-40 cm, and at 90 days, the lamellae and interlayers were collected for the determination of Ca^{2+} and SO_4^{2-} . The data were submitted to descriptive statistical analysis, linear correlation analysis for the comparison of the electrochemical variables, multivariate analysis and regression analysis to evaluate the variables as a function of the added gypsum doses. Based on the electrochemical characterization, the PCZ of the lamellas and interlayers were inferior to those found in the 0-20 layer in all profiles. The PESN of the lamella presented values between 8.4 and 2.8. The lamellae were responsible for generating electrical potential and predominantly negative liquid charge. The increase of negative charges by the lamellae produced higher CTC than that observed in the 0-20 layer in all profiles. The study of the interference of the lamellas in the movement of ions along the profiles showed that they functioned to retard Ca^{2+} movement after the treatments with gypsum.

Keywords: soil liquid charge; Neosols; gypsum.

Lista de Figura

FIGURA 1. Coleta de solos no perfil 1 (A), observação das lamelas expostas para coleta (B), (C), imagem da microparcela(D) e tradagem (E).....	32
FIGURA 2. Análise de Agrupamentos Hierárquicos com todos os parâmetros.....	47
FIGURA 3. Gráfico dos parâmetros obtidos por ACP (A) e gráfico das medidas obtidos por ACP (B).....	51
FIGURA 4. Gráfico dos parâmetros obtidos por ACP (A), gráfico das medidas obtidos por ACP (B).....	52
FIGURA 5. Dinâmica do cálcio ($\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$) e sulfato (mg dm^{-3}) nos perfis lamelares (P1 e P3) e não lamelar (P4) submetidos às diferentes dosagens de gesso aos 30, 60 e 90 dias (T1), (T2), (T3) nas duas profundidades.....	54

Lista de Tabelas

TABELA 1. Teores de Areia, Silte, e Carbono Orgânico Total (COT) dos perfis de Neossolos selecionados com base nos trabalhos de Firmino et al. 2016.....	27
TABELA 2. Valores de CTC, CTC pH 7, CTC efetiva e CTA das amostras de solo dos perfis de Neossolos com lamelas.....	34
TABELA 3. Caracterização Eletroquímica dos perfis de Neossolos Regolíticos com Lamelas.....	36
TABELA 4. Caracterização química dos perfis de Neossolos Regolíticos com Lamelas.....	44
TABELA 5. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$) e sulfato (mg dm^{-3}) em P1 após aplicação de gesso.	48
TABELA 6. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$) e sulfato (mg dm^{-3}) em P3 após aplicação de gesso.	48
TABELA 7. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$) e sulfato (mg dm^{-3}) em P4 após aplicação de gesso.	49

Sumário

1- INTRODUÇÃO	13
2-REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 NEOSSOLOS REGOLÍTICOS DO AGRESTE MERIDIONAL	14
2.2 ATRIBUTOS ELETROQUÍMICOS DO SOLO	19
2.3 MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS EM SOLOS ARENOSOS	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E PERFIS ESTUDADOS	27
3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO E COLETAS	28
3.2.1 Caracterização Eletroquímica de perfis de Neossolos Regolíticos com lamelas.	28
4.2 RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E ELETROQUÍMICOS DO SOLO	42
4.3 MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS	46
4.4- INFLUÊNCIA DAS LAMELAS NA MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS NO SOLO	56
5- CONCLUSÃO	60
6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1- INTRODUÇÃO

A economia do Agreste Meridional é marcada pela pecuária leiteira, pelo turismo, comércio e pelas atividades agrícolas. No que se refere à atividade agrícola, destaca-se a produção de espécies forrageiras e de culturas anuais, notadamente, feijão, mandioca e milho, sendo esta última utilizada tanto para a produção de grãos quanto para a produção de forragem.

A atividade agrícola ocorre sobre solos arenosos, especialmente sobre os Neossolos Regolíticos que ocupam extensas áreas no Agreste meridional. O modelo agrícola predominante é a agricultura familiar, a atividade é severamente limitada pelos recursos naturais para prover a demanda nutricional às culturas, sendo os solos arenosos a principal meio de transferência de nutrientes.

Os Neossolos dessa região apresentam visualmente, respostas diferentes quanto ao seu potencial produtivo, quando registrada a presença de lamelas, ou seja, em áreas de Neossolos com Lamelas são registradas maiores produtividades do que em áreas de Neossolos “iguais” sem lamelas e sob mesmo manejo.

Lamela é um termo morfológico atribuído à faixa de acumulação de constituintes granulométricos finos, especialmente argilas, em sedimentos arenosos. São entendidas como estruturas de dissipação que ocorrem em várias partes do mundo, desde clima temperado até zonas semiáridas (BOCKHEIM e HARTEMINK, 2013).

O estudo dos solos com lamelas do Agreste de Pernambuco tem concentrado esforços sobre a gênese mineralogia, propriedades físicas e físico-hídricas desses solos, contudo pouco se sabe sobre os atributos eletroquímicos de solos arenosos com lamelas e as consequências desses atributos sobre a fertilidade, visto que, com a acumulação de argila em faixas, toda a dinâmica físico-hídrica e eletroquímica, que influencia diretamente na movimentação de íons e a disponibilidade de nutrientes no solo pode ser alterada.

Em solos arenosos, esse tipo de pesquisa não é comum em função da baixa densidade de cargas associada aos baixos teores de argila ou, quando ocorrem estão associadas aos teores de substâncias húmicas presentes nesses solos. Entretanto, a presença de lamelas pode alterar essa condição, atuando na geração de cargas que somadas, ao longo do perfil,

podem implicar em maior capacidade de troca de cátions (CTC) podendo ser uma das explicações para a maior produtividade nesses solos.

O Ponto de Carga Zero (PCZ) é o atributo eletroquímico mais estudado na descrição dos fenômenos decorrentes da dupla camada elétrica e no entendimento da retenção íons em solos com cargas variáveis (ALLEONI e CAMARGO 2009).

Entre os vários conceitos de PCZ, o de maior destaque para solos intemperizados das regiões tropicais é o ponto de efeito salino nulo (PESN), tendo ele, assim como o PCZ, importante impacto nas propriedades de carga do solo, pois a diferença entre o PESN e o pH do solo determina o sinal e a magnitude da carga variável presente.

O Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é o material corretivo mais utilizado na agricultura para movimentar íons em profundidade, seja para distribuir cálcio no perfil ou para precipitar cátions em combinação com o sulfato (ROCHA, 2008). Sendo que o efeito da aplicação de gesso nas propriedades químicas do solo depende fundamentalmente das características eletroquímicas desses solos.

Assim, a dinâmica de adsorção de sulfato e o registro da movimentação de cálcio no perfil fornecido pelo gesso, podem ser úteis no estudo do comportamento das características eletroquímicas do solo e, neste caso específico, do efeito das lamelas na geração de cargas e na capacidade de troca iônica de solos arenosos.

O objetivo desse trabalho foi funcionar como base para propor um manejo da fertilidade de modo a potencializar a geração de cargas elétricas e a disponibilidade de nutrientes em solos arenosos com lamelas, visando a melhoria das condições química, físico-química e físico-hídrica desse tipo de solo.

2-REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 NEOSSOLOS REGOLÍTICOS DO AGRESTE MERIDIONAL

A economia nas áreas rurais do Agreste Meridional Pernambucano é reconhecida economicamente pela forte presença da pecuária leiteira, com a produção de leite e derivados, sendo considerada a bacia leiteira de Pernambuco. A agricultura é muito

difundida, mais notadamente por pequenos produtores, que exploram principalmente as culturas do feijão, do milho e da mandioca e espécies forrageiras. Onde a agricultura familiar é responsável por 59,7% da produção de feijão do estado, sendo que o município de São João se destaca como maior produtor de Pernambuco. (SIT, 2011).

Na microrregião de Garanhuns, a atividade agrícola ocorre sobre solos arenosos, mais especificamente sobre os Neossolos Regolíticos que ocupam extensas áreas no Agreste meridional de Pernambuco, ocupando 10,15% do Agreste Pernambucano (OLIVEIRA (2013). Nesse contexto, como o modelo agrícola predominante é a agricultura familiar, a atividade é severamente limitada pelos recursos naturais para prover as demandas de água e nutrientes para as culturas, sendo os solos arenosos a principal fonte ou meio de transferência.

Segundo a Embrapa (2013), o nome Neossolo surge do grego “néos”, que significa solo novo, ou seja, solos em início de formação. Esses solos podem ser subdivididos no 2º nível categórico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), em Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos. De forma geral, são solos de constituição predominantemente mineral, podendo ter uma fina camada de material orgânico (menos que 30 cm de espessura). Caracteriza-se por não apresentar horizonte B diagnóstico, possuindo poucas alterações expressivas com relação ao material de origem.

Almeida et al. (2015) estudando perfis selecionados com lamelas no Agreste de Pernambuco em observações em microscopia óptica, juntamente com os espectros de DRX, observou um predomínio de quartzo, seguido de feldspato potássico, plagioclásio e mica na fração grossa dos perfis estudados. Esses últimos três minerais compõem a assembleia dos minerais primários facilmente intemperizáveis (MPFI), que supera os 5%, confirmando o enquadramento dos solos daquela região como Neossolos Regolíticos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).

Os Neossolos Regolíticos são solos com textura arenosa ou média, com baixos teores de argila, normalmente entre 5 e 12%, e teores de silte na ordem de 10 e 20% Embrapa (2013), ocorrem em paisagens com relevo predominantemente suave, ondulado e/ou plano, sendo quase sempre fortemente drenado, raramente apresentam fase pedregosa e, em alguns casos isolados, ocorrem com fase rochosa (OLIVEIRA, 2009).

No geral são solos com baixo teor de matéria orgânica e fósforo, com alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água. Podem ser eutróficos ou distróficos, resultando em diferentes características físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas decorrentes de sua gênese (Embrapa, 2013).

De acordo com Santos et al. (2013) os Neossolos Regolíticos são formados a partir da alteração de gnaisses e granito ocorrendo em relevos que variam de plano a ondulado. A textura vai de areia a franco-arenosa e a estrutura, de grãos simples a maciça. Quanto à constituição mineralógica, é essencialmente formado por quartzo, sempre com ocorrência de feldspatos.

Segundo Parahyba (2013) e Santos et.al. (2013), a fração argila desses solos são constituídas por caulinita, ilitas, quartzo, feldspatos e esmectita, sendo a caulinita o mineral dominante nessa fração. O predomínio da caulinita como principal constituinte mineral da fração argila de solos pouco desenvolvido deve-se ao processo de monossilicização (caulinitização), favorecido por intensas chuvas sazonais, somadas a boa drenagem dos solos, levando a alteração direta dos feldspatos à caulinita. Ou ainda, ocorrência de quartzo nas frações grossas e nas finas dos solos, pode levar a uma lenta liberação de sílica para a fase solúvel, possibilitando sua contribuição na formação de caulinita em solos. Além disso, os baixos valores de ferro e titânio também são favoráveis à caulinita, (PARAHYBA, 2013).

O conhecimento das propriedades de carga superficial da caulinita é importante para entender a disponibilidade de nutrientes e adsorção de compostos tóxicos nos solos. Sendo a mesma portadora de uma pequena proporção de carga estrutural constante (carga permanente), devido a substituição isomórfica de Al^{3+} ou Fe^{3+} por Si^{4+} na folha tetraédrica, no entanto, a maior parte da carga é variável, sendo oriunda da protonação ou desprotonação de grupos hidroxílicos expostos nas bordas do mineral (KHAWMEE et al. 2013).

2.2 – A PRESENÇA DE LAMELAS EM SOLOS ARENOSOS

Lamelas são camadas finas, frequentemente descontínuas horizontalmente, de material rico em argila, associada ou não a óxidos de Fe e podem ocorrer em muitos tipos de solos do mundo (BOCKHEIM e HARTEMINK, 2013; FURQUIM et al., 2013; ALMEIDA et al. 2015). Em geral de espessura centimétrica em sedimentos arenosos, de conformação ondulada, normalmente situadas nos horizontes superiores, com os quais contrastam fortemente, podendo ser facilmente observadas (SANTOS et al. 2013).

Os estudiosos utilizam nomenclatura específicas que variam de acordo com a constituição das lamelas. Rawling et al. (2000), por exemplo, cita termos como: lamelas textural, bandas de textura, acumulação de argila, lamelas de argila iluvial, bandas de argila e ferro, camadas de argilas, estruturas de infiltração e pseudofibras. No entanto, Santos e Castro (2006) afirmam que a terminologia mais usual no Brasil é a de bandas onduladas.

No Brasil, o primeiro trabalho sobre lamelas ocorreu na década de 60 pertencendo a antiga Comissão de Solos que estudou sua ocorrência em Argissolos Vermelho-Amarelos. Na década posterior mesmo em condições edafoclimáticas diferentes, toda formação de bandas ondulatórias foi relacionada com o material de origem, e resultariam de processos deposicionais, independentemente das condições climáticas que ocorreram após sua deposição (SANTOS e CASTRO 2006).

Furquim et al. (2013) ao estudarem os processos de formação de lamelas em solos tropicais no Sudeste do Brasil, estabelecem a gênese de lamelas ao longo de uma toposequência, afirmando que as lamelas seriam formadas, tanto por argiluviação, como também seriam resultantes da degradação do horizonte Bt.

Bockheim (2015), em seus estudos sobre a gênese de horizontes sálicos lamelares, apresentam evidências de argiluviação, como processo secundário na formação dos mesmos. Bockheim (2016), reunindo trabalhos sobre a classificação e distribuição de solos com horizontes álbicos lamelares nos EUA, ressalta também a argiluviação como principal processo na formação desses solos. O mesmo autor ainda afirmou que as lamelas ocorrem em torno de 40 a 50 cm de profundidade, com espessura menor que 2 mm e ligeiramente composta por material mais fino do que entre lamelas.

Rolin e Santos (1994), em seu estudo sobre lamelas em Neossolos no Agreste de Pernambuco, observou que uma das características mais marcantes do perfil é a ocorrência de lamelas argilosas finas, associadas ou não com óxidos de ferro, e matéria orgânica, paralelas à superfície do solo, mas com ligeiras ondulações, cores mais escuras e consistência mais dura que a matriz dos horizontes onde estão inseridas

Quanto ao processo de formação das lamelas no solo, embora ainda seja aceita a informação que as associa aos ambientes e sedimentos, estudos em situação e tempo experimental conseguiram produzir bandas argilosas em diferentes profundidades, fazendo supor que podem ter desenvolvimento relativamente rápido (SANTOS e CASTRO, 2006).

Em seu estudo, Ober et al. (2017) observou que a irrigação e a precipitação translocaram a argila perfil abaixo, que se acumulou no limite textural de areia e cascalho, atravessando poros de areia e resultou em uma lamela ligeiramente dura que pode ter sido cimentada por revestimentos de Fe. Pelo fato do local de estudo ter apenas 9 anos de idade, é um indicio que as lamelas de argila podem formar-se em limites de textura em escalas de tempo curtas, desde que haja argila suficiente, irrigação e precipitação para direcionar a translocação.

Em estudo recente, Firmino (2016), avaliando a gênese de lamelas em uma litopossequência no agreste pernambucano concluiu que a origem das lamelas nessa região é pedogenética, dado o peneiramento de argilas promovidos por zonas mais fechadas de grãos de areia finos, provavelmente oriundos da desintegração de quartzos policristalinos. Assim como as lamelas superiores têm sua formação controlada pelo fluxo hídrico e sua estabilidade é ocasionada pelos íons flocculantes Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A formação das bandas onduladas no interior dos Neossolos Quartzarênicos é facilitada pela ação da gravidade e peneiramento na porosidade de empilhamento, através do fluxo de água, que carrega partículas em suspensão formando uma banda incipiente, que acaba sendo uma barreira para o movimento da água descendente, dado o entupimento dos poros de baixo para cima. Isto acarreta translocações sucessivas ao longo do perfil, graças às condições de clima tropical (OLIVEIRA, 2009).

Em solos arenosos, estudos eletroquímicos não são comuns em decorrência da baixa densidade de cargas associada aos baixos teores de argila ou, quando ocorrem, são

associadas à substâncias húmicas presentes nesses solos, para fins de fertilidade (SANTOS et al. 2013).

Importante salientar que a presença de estruturas de dissipação em solos arenosos, pode alterar essa condição, atuando na geração de cargas derivadas das argilas interlamelares, que somadas, ao longo do perfil, podem refletir na química de superfície e a troca iônica nesses solos. A alteração das cargas que ocorre devido a presença de argila iluvial composta basicamente por caulinita implicando em uma maior capacidade de troca de cátions (CTC) podendo ser uma das explicações para a maior produtividade nesses solos. (ROLIN e SANTOS, 1994).

Atualmente, pouco se sabe sobre os atributos eletroquímicos de solos arenosos com lamelas e a consequência desses atributos sobre a fertilidade dos solos e resposta ao manejo químico. Já que estudos nessa área são importantes para entender vários fenômenos ambientais, físicos e químicos, relacionados à movimentação e à adsorção de íons no solo (SANTOS et al. 2013). Em razão de que as reações eletroquímicas influenciam diretamente a fertilidade do solo e consequentemente a nutrição das plantas e a produtividade das culturas.

Firmino (2016) estudando perfis com lamelas no agreste meridional de Pernambuco, observaram que as mesmas apresentam altos teores de carbono orgânico, baixos valores na capacidade de troca de cátions, porém valores significativamente maiores de CTC quando comparados à zona entrelamelas. Onde, de forma geral, o complexo de troca de argilas das lamelas é ocupado, muitas vezes, por cátions floculantes, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} , (ALMEIDA et al 2014).

2.2 ATRIBUTOS ELETROQUÍMICOS DO SOLO

A utilização de atributos eletroquímicos tem sido sugerida por muitos autores como forma de caracterizar o complexo coloidal do solo e servir como índices de avaliação de certas propriedades relacionadas à fertilidade, à nutrição das plantas e à pedogênese, possibilitando diferenciar os solos de região para região (CORINGA e WEBER, 2008).

Os solos tropicais e subtropicais apresentam como predominância colóides de carga variável. Cargas variáveis são aquelas originárias da adsorção de íons na superfície dos colóides do solo, sendo a carga líquida determinada pelo íon que é adsorvido em excesso. Íons capazes de interferir na carga ao serem adsorvidos são chamados íons determinantes de potencial. Sendo os principais íons determinantes de potencial na solução do solo são H^+ e OH^- . Caulinita, goethita, hematita e gibbsita são os principais minerais do solo que apresentam essa característica (FONTES et al. 2001).

O Ponto de Carga Zero (PCZ) é o atributo eletroquímico mais estudado em solos tropicais, utilizado na descrição de fenômenos decorrentes da dupla camada elétrica e na determinação de vários atributos pedológicos, tais como desenvolvimento pedogenético, topossequência ou cronossequência (FONTES et al. 2001). Além de desempenhar um papel importante na formação de agregados e na retenção de íons adsorvidos, contra os efeitos da lixiviação, especialmente nos solos de carga variável (SPOSITO, 1989).

Sua reconhecida importância no âmbito de fertilidade do solo fez com que muitos trabalhos fossem realizados, procurando modificar o seu valor a níveis mais adequados para absorção de nutrientes pelas plantas (FONTES et al. 2001).

Para a avaliação global dos constituintes do solo, o valor do PCZ indica o pH no qual o balanço de cargas dos colóides do solo é nulo, isto é, $\sigma_p = 0$. Onde $\sigma_p = \sigma_0 + \sigma_H + \sigma_{is} + \sigma_{os}$ (SPOSITO, 1989). Nessa equação, as variáveis σ_0 , σ_H , σ_{is} e σ_{os} representam as cargas permanente, variável, advindas de complexos de superfícies por adsorção específica (“inner sphere”) e não específica (“outer sphere”), respectivamente. Nesse valor de pH não existe carga líquida relativa aos íons adsorvidos na camada difusa (BALDOTTO e VELOSO, 2014).

Essa condição pode ser experimentalmente estabelecida, verificando-se, num determinado campo elétrico, o valor de pH no qual as partículas deixam de se mover (medida da mobilidade em eletroforese) ou, então, o valor de pH no qual as partículas sedimentam (“medida da floculação”). Esse ponto de carga zero assinala a ausência de íons adsorvidos, movendo-se livremente na camada difusa e, também, representa a intensificação das forças entre as partículas responsáveis pela coagulação (BALDOTTO e VELOSO, 2014).

As propriedades químicas do cátion central que compõe um óxido ou hidróxido têm influência decisiva no valor de seu PCZ. Quanto maior a carga e menor o raio iônico desse cátion, maior será sua capacidade de atrair elétrons do oxigênio ao qual se encontra ligado. Isso faz com que o oxigênio passe a atrair com mais intensidade o par de elétrons por ele compartilhado com o átomo de hidrogênio do grupo M-O-H de superfície, o que resulta em uma maior facilidade de desprotonação, fato que se traduz em um menor valor de PCZ para o mineral (ALVES et al. 2002).

Apesar de a caulinita não ser um óxido, esse fenômeno se aplica a ela, explicando o fato desse mineral apresentar um PCZ menor que os dos óxidos. Comparativamente aos óxidos cristalinos de ferro e de alumínio, a caulinita é o único mineral que apresenta um cátion tetravalente em sua estrutura (Si^{4+}), fator que seria responsável pelo seu baixo PCZ (ALVES et al. 2002).

As propriedades eletroquímicas, como o ponto de carga zero (PCZ), dependem do tipo de coloide e são influenciadas por diversos fatores, especialmente pelas modificações nos teores de carbono e no pH do solo (RHEINHEIMER et al. 1998).

De acordo com Gilman (1980), uma estimativa do PCZ pode ser feita indiretamente pela equação: $\text{PCZ} = 2 \text{ pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ em que os valores de pH KCl e de pH H_2O provém da determinação do pH em KCl 1 mol L^{-1} e em água, ambos na relação solo: extrator igual a 1: 2,5.

O PCZ é um ponto de referência para se avaliar o sinal da carga líquida da superfície, no pH atual do solo, ou seja, se ela está carregada positivamente ($\text{pH} < \text{PCZ}$), ou negativamente ($\text{pH} > \text{PCZ}$). Com o PCZ é possível determinar o potencial da dupla camada elétrica (Ψ_0 , mV), pela equação simplificada de Nernst ($\Psi_0 = 0,059 (\text{PCZ} - \text{pH})$), em que o PCZ pode ser estimado por titulação potenciométrica (PESN) e o pH medido em água (BALDOTTO e VELOSO, 2014).

Os valores de PCZ e de Ψ_0 têm diversas aplicações importantes, como as previsões sobre a tendência à floculação e à dispersão dos coloides do solo, o grau de intemperismo e a formação de complexos de superfície (SPOSITO, 1989). O aumento da CTC e do potencial elétrico negativo superficial do solo é uma consequência da adsorção química de hidroxilas na superfície dos óxidos e hidróxidos, principalmente de ferro e

alumínio, nas arestas quebradas da caulinita, e da ionização de grupamentos funcionais da matéria orgânica, dos quais os carboxílicos são os mais importantes (ALBUQUERQUE et al., 2000).

Outro método relativamente simples e usual, para se estimar-se a carga líquida dos coloides do solo é negativa, zero ou positiva, consiste em analisar os valores de pH determinados em KCl 1 mol L⁻¹ e em água (UEHARA et al. 1981). A estimativa é dada por ΔpH , que é igual à diferença entre pH KCl e pH H₂O. Valor negativo ou positivo de ΔpH é indicador indireto de predominância de cargas líquidas negativas ou positivas nos coloides (BALDOTTO e VELOSO, 2014).

Entretanto com o valor do PCZ é possível descrever as propriedades decorrentes da dupla camada elétrica de interfaces reversíveis, como também é possível determinar o valor do potencial elétrico na superfície (ψ_0) e a densidade de carga superficial líquida (σ) (FERNANDES et al. 2008).

Entre os vários conceitos de PCZ, o de maior destaque para solos intemperizados das regiões tropicais é o ponto de efeito salino nulo (PESN), (ALLEONI e CAMARGO, 1994). O PESN tem importante impacto nas propriedades de carga do solo, pois a diferença entre o PESN e o pH do solo também determina o sinal e a magnitude da carga variável presente. Se o pH do solo for maior que o PESN, eles desenvolvem, na sua maioria, carga negativa, favorecendo a troca catiônica (CORINGA e WEBER, 2008).

Na literatura, muitos são os trabalhos que mencionam o termo PCZ. Em alguns deles, como o de Raij e Peech (1972), verifica-se que apesar dos autores terem feito menção ao PCZ houve, na realidade, a determinação do PESN. Contudo, a maior parte dos trabalhos faz menção ao PCZ e é considerada uma estreita associação existente entre esse atributo e o PESN, em especial para os solos tropicais (ALVES, 2002).

O PESN corresponde ao valor de pH no qual a concentração salina da solução em contato com a fase sólida não exerce influência sobre a magnitude das cargas elétricas de caráter variável que se manifestam na superfície das partículas coloidais existentes no solo. Nesse valor de pH não existe carga líquida relativa aos íons adsorvidos na camada difusa (SPOSITO et al. 2008).

A determinação do valor desse atributo é de grande importância em estudos físico-químicos dos solos com cargas variáveis, visto que alguns fenômenos eletroquímicos que ocorrem na interface sólido-líquido são influenciados pela densidade superficial de cargas elétricas, a qual varia de acordo com a diferença existente entre os valores de pH e de PESN. Além disso, fenômenos eletroquímicos, como a adsorção específica de cátions e ânions, podem promover modificações na distribuição superficial de cargas, as quais se podem refletir em mudanças no valor do PESN (ALVES, 2002).

O valor do PESN e PCZ do solo depende da composição mineralógica deste e da presença de matéria orgânica humificada. Os estudos indicam que os óxidos de ferro e de alumínio têm PESN e PCZ mais elevados, enquanto os aluminossilicatos e a matéria orgânica têm PESN e PCZ mais baixos (ALVES, 2002).

Os óxidos de Fe apresentam valores entre 7 e 9, e os óxidos de Al entre 8 e 9,2. Para a caulinita, atribui-se um valor médio em torno de 4,6 para o seu PESN. Assim, o PESN reflete a composição mineralógica da fração argila de horizontes subsuperficiais e o conteúdo de matéria orgânica de um solo (BALDOTTO e VELOSO, 2014).

Por isso, o PESN é utilizado muitas vezes como forma de avaliar o grau de intemperismo do solo e, conseqüentemente, do desenvolvimento pedológico, visando a sua aplicação à taxonomia dos solos (CORINGA e WEBER, 2008).

O primeiro e mais bem aceito método empregado na determinação de PESN é o da titulação potenciométrica utilizado por Raij e Peech (1972), com modificações de Costa et al. (1984). Sendo igual ao valor de pH correspondente ao ponto de interseção de curvas estabelecidas para diferentes concentrações salinas. Essas curvas relacionam as quantidades de íons H^+ e OH^- adsorvidos por amostras de solo aos valores de pH atingidos pelas suspensões na condição de equilíbrio.

Segundo Alves (2002), a adição de soluções salinas ácidas e alcalinas às sub amostras de solo durante a execução do método de titulação potenciométrica pode resultar em: alterações nas atividades de íons H^+ e OH^- na solução em decorrência de alterações nas proporções de cátions e ânions adsorvidos; aumento na dissociação de radicais orgânicos com o aumento do pH e da concentração de contra-íons; modificações das reações de complexação de metais pela matéria orgânica com as variações de pH e heterogeneidade quanto à formação de cargas por protonação e desprotonação de grupos $-OH$ de superfície dos diferentes óxidos presentes.

Embora o método da determinação do PESN já esteja bem estabelecido, Costa et al. (1984) mencionam que dificilmente observa-se, em amostras de solos menos intemperizados, um único ponto de cruzamento das curvas de titulação potenciométricas. Nos casos em que não se observa um único ponto de cruzamento entre as curvas de titulação potenciométrica, comum ao se realizar a determinação do PESN em amostras de solos menos intemperizados, o ponto central do triângulo formado pelos pontos de intersecção das três curvas eletrolíticas é, por vezes, considerado como sendo o valor do PESN, passando a ser uma consideração bastante subjetiva (FERNANDES et al. 2008).

Devido a esta dificuldade, Alves, (2002), usando o recurso da informática, desenvolveram o programa computacional PESN para Windows versão 1.0. Este programa ajusta as curvas de titulação potenciométricas através de equações polinomiais de quarto grau para cada série eletrolítica e tem como objetivos eliminar a subjetividade do método gráfico, proporcionar rapidez às determinações e permitir o conhecimento do grau de precisão dos valores calculados.

A carga na superfície do solo com carga variável pode ser alterada pela aplicação orientada de fertilizantes e corretivos, os quais, uma vez solubilizados, podem ter seus íons carregados no perfil, com conseqüente acúmulo em camadas mais profundas, onde o efeito da matéria orgânica sobre o balanço de cargas é reduzido, aumentando significativamente a CTC e, conseqüentemente, a capacidade produtiva desses solos (GARCIA et al.,2003).

Assim, estudos realizados acerca do PESN e PCZ em solos podem orientar até práticas de manejo específicas, com a finalidade de alterar o seu valor para aumentar a resposta das culturas agrícolas a uso de fertilizantes (CORINGA e WEBER, 2008). Considerando também, o fato que são escassas as informações a esse respeito para os solos que ocorrem na região Nordeste do Brasil, e mais especificamente, a respeito da influência das estruturas lamelares sobre a eletroquímica de alguns desses solos.

2.3 MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS EM SOLOS ARENOSOS

Estudos envolvendo as propriedades elétricas dos solos são importantes para entender vários fenômenos ambientais, físicos e químicos, relacionados à movimentação e à adsorção de íons no solo (ALCÂNTARA et al. 2010). Considerando o fato que o carregamento de íons no perfil pode ser benéfico, por estimular maior crescimento radicular, o que propicia maior absorção de nutrientes em profundidade (SERAFIM et al. 2012).

Os principais aspectos químicos que influenciam a capacidade de acumulação ou mobilidade de diversas espécies químicas no solo são, o pH, a capacidade de troca de cátions, as reações de dissolução/precipitação e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o processo de transporte (ANDREGUITTO et al. 2015).

O Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é o material corretivo mais utilizado na agricultura para movimentar íons em profundidade, seja diretamente para distribuir cálcio no perfil ou para precipitar cátions em combinação com o sulfato (ROCHA, 2008). Estas características, associadas à elevada solubilidade e mobilidade do íon sulfato permitem que o gesso, quando aplicado na superfície do solo, seja solubilizado pela água das chuvas e, ou irrigação, sendo parte redistribuída para o subsolo (SERAFIM et. al., 2012).

Uma vez na solução do solo, o íon Ca^{2+} pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando cátions como Al^{3+} , K^+ e Mg^{2+} para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando AlSO_4^+ (menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros: K_2SO_4 e MgSO_4 , além do CaSO_4 . Em função da sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando a descida de cátions para as camadas mais profundas do solo (CREMON et al., 2009, ROCHA, 2008).

Carduci et al. (2014) observou que seus tratamentos com gesso promoveram uma melhoria na capacidade de troca de cátions do solo, destacando ainda a ausência de alumínio trocável na profundidade de 0,15 m, além do maior conteúdo de carbono orgânico total.

Soroto e Cruscio (2008) demonstrou que a aplicação de gesso agrícola promoveu aumentos nos teores de Ca^{2+} trocável e S-SO_4^{2-} , e diminuição no teor de Al^{3+} trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo.

Silva et al. (2013) trabalhando com diferentes doses de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico de mineralogia oxidica-gibbsítica, observou que os tratamentos promoveram uma melhoria na capacidade de troca de cátions do solo, destacando ainda a ausência de alumínio trocável na profundidade de 0,15 m.

Serafim et al. (2013) e Ramos et al. (2012), observaram que a aplicação de doses de gesso provocou aumento nos teores de Ca nas camadas subsuperficiais do solo, evidenciando o arraste desse nutriente para as camadas além da aplicação do insumo, onde a presença do Ca distribuído ao longo do perfil foi extremamente importante para que pudesse ocorrer a absorção contínua desse nutriente na cultura do cafeeiro, cujas raízes se desenvolvem em maiores profundidades. O cálcio é um agente flocculante das partículas de argila, reduzindo a dupla camada elétrica, e favorecendo uma melhor estabilidade do agregado (SERAFIM et al. 2012, CARDUCCI et al. 2015).

Santos et al. (2013) em estudo com Cambissolo salino sódico, fez uso do gesso para avaliar a dinâmica de cátions e ânions básicos, observando que os tratamentos com aplicação de gesso houve uma redução no teor de Na^+ do solo, sendo no final de estudo a média da redução em relação aos teores originais foi de 16,31%.

Alcântara e Camargo (2010), verificou a redução dos valores do PESN na subsuperfície, o que confirmou a geração de novos sítios de adsorção de cátions com a aplicação de sulfato de cálcio (gesso). O mesmo autor registra ainda a possibilidade “adsorção salina”, processo pelo qual o sulfato, tendo como principal íon acompanhante o cálcio, seria adsorvido eletrostaticamente pelas superfícies coloidais do solo na forma de par iônico. Ainda segundo o autor, o efeito da aplicação de gesso nas propriedades químicas do solo depende fundamentalmente das características eletroquímicas desses solos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E PERFIS ESTUDADOS

Os solos foram coletados no Sítio Várzea do Barro, pertencente ao município de São João, com coordenadas de 08° 51' 11" S / 36° 22' 49,1" W, na mesorregião Agreste e na microrregião Garanhuns do Estado de Pernambuco, distante 236 km da cidade do Recife (BRASIL, 2005) a uma altitude aproximadamente de 716 metros.

O município de São João - PE está inserido na unidade geoambiental das superfícies retrabalhadas com relevo dissecado e vales profundos. De acordo com BORGES et al. (2012), o clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. De acordo com dados da Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária de Pernambuco (SARA, 2014) a precipitação pluvial anual total é de 826 mm, sendo o trimestre mais chuvoso constituído dos meses de maio, junho e julho.

O perfil 1 (P1), localiza-se em altitude média de 738 metros (8° 51' 12,6" S/ 36° 22' 50,3" W (GPS) sendo o mais alto da paisagem, em posição suave inclinada; o perfil 2 (P2) situa-se em altitude média de 729 metros (8° 51' 4,2" S/ 36° 22' 56,5" W (GPS), em posição de relevo plano; o perfil 3 (P3) encontra-se em uma altitude média de 728 metros (S 8° 50' 59,7" W 36° 23' 1,4" (GPS), sendo o perfil localizado na inflexão da vertente, saindo de uma região de relevo mais planar e entrando em uma região de relevo inclinado; o perfil 4 (P4), localiza-se a uma altitude de 720 metros (8° 50' 54,3" S/ 36° 23' 05,8" W(GPS), é o de posição mais baixa dentro da vertente (FIRMINO, 2016). Na localidade onde os perfis são encontrados, são exploradas culturas do feijão e da mandioca, fertilizadas apenas com cama de aviário.

A granulometria dos perfis dos Neossolos estudados, os teores de carbono orgânico total e a caracterização mineralógica das argilas por difratometria de raios X, foram determinada por Firmino, (2016), em pesquisa anterior (Tabela 1). Nesse trabalho, os solos variaram entre a textura arenosa/franco arenosa, sendo a fração argila dominada

por caulinita com teores variando entre 40 e 100 g kg⁻¹, no geral, e de 80-100 g kg⁻¹ nas lamelas.

Tabela 1. Teores de Areia, Silte, e Carbono Orgânico Total (COT) dos perfis de Neossolos selecionados com base nos trabalhos de Firmino (2016).

Amostras	Areia	Silte	Argila	COT
	g kg ⁻¹			
Perfil 1 - Neossolo Regolítico				
0-20	892	68	40	1,63
1 C.L	869	30	100	4,4
2 C.L	859	40	100	3,2
E.L	907	52	40	3,1
Perfil 2 - Neossolo Regolítico				
0-20	800	140	60	3,16
1 C.L	875	24	100	2,5
E.L	872	47	80	1,3
Perfil 3 - Neossolo Regolítico				
0-20	900	60	40	1,9
1 C.L	836	63	100	1,7
2 C.L	830	69	100	2,7
E.L	875	84	40	1,1
Perfil 4 - Argissolo Acinzentado				
0-20	876	104	20	2,77
20-80	802	98	100	2,31

3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO E COLETAS

3.2.1 Caracterização Eletroquímica de perfis de Neossolos Regolíticos com lamelas.

A primeira etapa do trabalho consistiu na coleta de solo utilizado posteriormente para a caracterização química e eletroquímica dos perfis lamelares. Nessa etapa foi caracterizado os perfis 1, 2 e 3, (P1, P2 e P3).

No P1 foram coletadas amostras da camada superficial (0-20 cm), primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), entre lamelas do primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), segundo conjunto de lamelas (40-60 cm), entre lamelas do segundo conjunto de lamelas (40-60 cm), e da camada > 60 cm. No P2 foi coletado solo da camada superficial (0-20 cm), primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), entre lamelas do primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), e da camada > 40cm. No P3 foram coletadas amostras da camada superficial (0-20 cm), primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), entre lamelas do primeiro

conjunto de lamelas(20-40 cm), segundo conjunto de lamelas (40-60 cm), entre lamelas do segundo conjunto de lamelas (40-60cm) e da camada > 60 cm.

As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises químicas e eletroquímicas foram realizadas CENLAG (Central de Laboratórios de Garanhuns) da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE).

Foram determinados os valores de pH em suspensões de TFSA em água (pH H₂O) e TFSA e solução de KCl 1 mol L⁻¹ (pH KCl) na proporção sólido-água de 1:2,5 (Embrapa, 1997). A partir dos valores de pH medidos em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e em água, foram calculados os valores de ΔpH, índice dado por: $\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ (MEKARU e UEHARA ,1972).

O PCZ foi estimado segundo os mesmos autores a partir da equação: $\text{PCZ} = 2 \text{ pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ (KENG e UEHARA, 1974).

O ponto de efeito salino nulo (PESN) foi determinado com o emprego do método da titulação potenciométrica utilizado por Raij e Peech, (1972) com modificações propostas por Costa et al. (1984). Os valores de PESN foram determinados adotando-se o seguinte procedimento para a obtenção dos dados de titulação potenciométrica:

- Sub amostras de 4 g TFSA foram transferidas para copos plásticos de 50 mL de capacidade, totalizando 18 unidades por solo;

- Dividiram-se os recipientes em três grupos de seis; em um deles, cada copo recebeu 20 mL de solução de NaCl 0,1 mol L⁻¹; em outro 20 mL de solução de NaCl 0,01 mol L⁻¹ e no outro, 20 mL de solução de NaCl 0,001 mol L⁻¹; - adicionaram-se aos recipientes de cada série volumes de HCl 0,4 mol L⁻¹ e de NaOH 0,1 mol L⁻¹ , correspondentes a 0; 0,15; 0,25 e 0,5 mL;

- Agitaram-se as suspensões que, em seguida, permaneceram em repouso por 24 horas;

- Agitaram-se novamente as suspensões e 30 minutos depois efetuou-se a determinação do pH das mesmas.

O valor do PESN foi considerado o valor de pH do ponto de interseção das curvas de titulação obtidas para cada concentração do eletrólito. Para construção das curvas de titulação potenciométrica e tratamento dos dados obtidos, foi utilizado o programa computacional PESN 1.0, desenvolvido por Alves et al. (2002). Este programa ajusta as curvas de titulação potenciométricas através de equações polinomiais de quarto grau para cada série eletrolítica e tem como objetivos eliminar a subjetividade do método gráfico, proporcionar rapidez às determinações e permitir o conhecimento do grau de precisão dos valores calculados (FERNANDES et al. 2008).

O valor do potencial elétrico foi calculado pela equação simplificada de Nernst, segundo Rajj e Peech, (1972): $\Psi_0 = 59,1 (\text{PESN} - \text{pH})$ em mv, empregando-se o valor de pH medido em água.

A carga elétrica líquida do solo foi obtida por meio da equação proposta por Keng e Uehara, (1974), ou seja: Carga líquida = (PESN – pH H₂O).

A capacidade de troca catiônica efetiva das amostras estudadas foi determinada em triplicatas utilizando-se o método de troca compulsiva da Embrapa (2011), baseada na saturação do solo com solução de BaCl₂ e posterior adição de solução padrão de MgSO₄. A quantidade de Mg⁺⁺ retirada do MgSO₄ representa a CTC (troca catiônica) e o Cl⁻ retido a CTA (troca aniônica). Estas determinações são feitas ao pH do solo com concentrações eletrolíticas próximas às encontradas no campo.

A capacidade de troca aniônica das amostras estudadas foi determinada em triplicatas utilizando-se o método de troca compulsiva da Embrapa (2011). O teor de cloreto presente nos extratos foi quantificado pelo método de titulação de Mohr (MAGALHÃES et al. 1987).

Os Cátions trocáveis, A acidez potencial (H⁺ Al) e o fósforo disponível foram realizadas segundo métodos da EMBRAPA (2011). Os teores de Ca⁺² e Mg⁺² foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

A partir dos teores de K, Ca e Mg, foi calculada a soma de bases (SB); a capacidade de troca catiônica potencial (T) foi calculada somando-se os teores dos cátions trocáveis e a acidez potencial. As saturações por Al³⁺ (m%) e por bases (V%) foram

calculadas dividindo-se, respectivamente, os teores de Al^{3+} e a soma de bases pelo valor da capacidade de troca catiônica potencial.

O ataque sulfúrico foi realizado em sub amostras de TFSA segundo Embrapa (2011). Sendo os teores de ferro no extrato sulfúrico determinados empregando-se o método colorimétrico.

3.2.2 Estudo da movimentação de íons em perfis de solos com lamelas

A segunda etapa do experimento durou 4 meses, de junho à setembro de 2016. Nesse período, a precipitação foi de 41,6 mm, 45,9 mm, 62,7 mm e 19,4 mm, para os meses de junho, julho, agosto e setembro, respectivamente, segundo dados do Agência Pernambucana de água e clima (APAC, 2017)

Para estudar a interferência das lamelas na movimentação de íons ao longo dos perfis, no início das chuvas no Agreste Meridional, foram adicionadas doses de gesso sobre microparcelas instaladas em machas de solos próximas à dois dos três perfis caracterizados na etapa anterior, P1 e P3, e um perfil sem ocorrência de lamelas, P4.

No total foram delimitadas, 20 microparcelas de 2 m^2 no entorno de cada perfil, dispostas em delineamento em blocos casualizados (DBC). O gesso foi aplicado a lanço nos níveis de 0%, 50% (115 g m^{-2}), 100% (230 g m^{-2}), 150% (345 g m^{-2}), 200% (460 g m^{-2}), de necessidade de gessagem, com 4 (quatro) repetições. A necessidade de gessagem foi calculada de acordo com a seguinte fórmula: $\text{NG} = (2 - \text{Ca}^{2+}) \times 2,5$, de acordo com o Petrofértil, citado por Alvarez et al. (1994).

Nas microparcelas, foram coletadas, por meio de tradagens, amostras nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação do gesso. Em acréscimo foram realizadas coletas pontuais em três repetições no P3 nas camadas de 0-20, primeiro conjunto de lamelas (20-40 cm), segundo conjunto de lamelas (40-60 cm) e camada > 60 cm, aos 90 dias da implantação do experimento (Figura 1).

Nas amostras de TFSA, foram determinados os teores de Ca^{+2} e de Sulfato, conforme métodos propostos pela EMBRAPA (2011), sendo o Ca^{+2} quantificado por espectrofotometria de absorção atômica.

Figura 1. Coleta de solos no perfil 1 (A), observação das lamelas expostas para coleta (B), (C).



3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos a análise de correlação linear de Pearson para a comparação das variáveis eletroquímicas e demais atributos do solo. Também foram utilizados procedimentos de análises de multivariada, a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) e a Análise de Componentes Principais (ACP) para avaliação temporal das variáveis, bem como para avaliação dos perfis estudados, doses e profundidades. O software utilizado foi o Assistat 7.7.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA

Em P1 os valores de CTC das entrelamelas foram superiores aos encontrados nas lamelas, sendo o maior valor de CTC encontrado na camada >60 cm desse perfil (Tabela 2). Os menores valores de CTC desse perfil foram encontrados na camada 0-20, corroborando com a granulometria nessa camada composta basicamente por areia.

Tabela 2. Valores de CTC, CTC pH 7, CTC efetiva e CTA das amostras de solo dos perfis de Neossolos com lamelas

Amostras	CTC	CTC pH 7	CTC efetiva	CTA
cmol _c kg ⁻¹				
Perfil 1 - Neossolo Regolítico				
0-20	1,17	2,54	1,67	0,0120
1 ^o C.L	2,53	2,42	1,04	0,0121
E.L	3,30	1,32	1,02	0,0121
2 ^o C.L	2,80	1,41	0,88	0,0121
E.L	3,83	1,31	1,06	0,0121
> 60	4,65	3,39	1,14	0,0122
Perfil 2 -Neossolo Regolítico				
0-20	0,75	2,33	1,86	0,0120
1 ^o C.L	2,07	3,13	2,39	0,0122
E.L	1,58	3,62	2,47	0,0120
>40	2,23	3,95	1,45	0,0121
Perfil 3 -Neossolo Regolítico				
0-20	0,54	2,17	1,58	0,0123
1 ^o C.L	2,64	2,02	1,66	0,0122
E.L	1,31	2,26	1,77	0,0120
2 ^o C.L	2,62	2,64	1,64	0,0123
E.L	2,49	2,25	1,75	0,0121
>60	1,81	1,77	0,68	0,0120

C.L= conjunto de lamelas, EL= entrelamelas.

Sharma et al. (2014), estabelece que a CTC provém de locais carregados negativamente na superfície de minerais de argila e matéria orgânica, que adsorvem e mantêm íons carregados positivamente por força eletrostática. Assim, o resultado também

concorda com o maior teor de argila observado nas lamelas e entrelamelas (Tabela 1), implicando em maior CTC (Tabela 2).

Santos et al. (2013) salienta que em Neossolos regolíticos no agreste meridional de Pernambuco a CTC é baixa, com valores variando entre 1,2 e 5,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, condizentes com a granulometria essencialmente arenosa dos solos, com baixos teores de carbono orgânico total observados por ele, assim como, baixos teores de cátions básicos trocáveis nos solos favorecidos pela forte lixiviação dos cátions básicos trocáveis nas estações chuvosas.

Outro fator importante para a elevação da CTC nas camadas das lamelas é a mineralogia do mineral de argila em sua constituição, predominantemente caulinitico, conforme determinado por Firmino (2016), em pesquisa anterior com esses perfis. Almeida et. al (2015), estudando as características da micromorfologia do material fino em um perfil de Neossolo Regolítico no município de São João, observou que os solos apresentaram semelhanças na cor (amarela) e na composição (caulinítica) predominante na fração argila. Segundo Sharma et al., a caulinita, dependendo do grau de pureza, pode apresentar uma CTC variando de 3 a 15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Importante destacar que a determinação de CTC por soma das bases, seja a potencial ou a efetiva, não refletem a capacidade de troca imposta pelas lamelas, apresentando, inclusive, correlação não significativa com a CTC por troca compulsiva. Diferente deste trabalho, Alves, (2002), trabalhando com Argissolos, observou que os valores de CTC determinados pela soma de bases e troca compulsiva apresentaram elevada correlação entre si de 94% (0,94**). Contudo, ainda segundo o autor, o valor de CTC obtidos pelos métodos que empregaram cátions-índices demonstram uma concentração de dados mais próxima da linha de igualdade, menor dispersão em relação a média dos valor da CTC.

A maior CTC em profundidade decorrente das lamelas e entrelamelas em P1 ocorreu também em razão das mesmas apresentarem um maior teor de carbono orgânico total (Tabela 1), se comparadas a camada 0-20, coincidentes com o acúmulo de argila, levando conseqüentemente a pH mais baixo, e refletindo em valores de PCZ e PESN mais baixos, que serão discutidos posteriormente.

Os valores de pH em água variaram entre 4,7 à 6,3 em todas camadas de P1 (Tabela 3). As camadas mais superficiais apresentaram valores mais moderados de acidez em relação aos as lamelas e a camada entrelamelas, onde os valores de pH em água da camada de 0-20 cm foram em média duas unidades superiores aos observados nas lamelas.

Tabela 3. Caracterização Eletroquímica dos perfis 1, 2 e 3.

Amostras	Prof (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCL)	ΔpH	PESN	Ψ (mv)	Carga líquida	PCZ
Perfil 1 - Neossolo Regolítico								
0-20	0-20	6,3	6,2	-0,1	6,6	20,1	0,3	6,0
1 ^o C.L	20-40	4,7	4,4	-0,3	4,1	-35,5	-0,6	4,1
E.L	20-40	5,3	4,4	-0,9	2,9	-141,9	-2,4	3,6
2 ^o C.L	40-60	4,8	4,1	-0,7	3,4	-73,8	-1,4	3,5
E.L	40-60	5,4	4,5	-0,9	2,8	-159,6	-2,6	3,7
Perfil 2 -Neossolo Regolítico								
0-20	0-20	7,2	7,0	-0,3	7,2	0,0	0,0	6,7
1 ^o C.L	20-40	5,7	4,8	-0,8	7,7	118,2	2,1	4,0
E.L	20-40	5,7	5,1	-0,6	4,5	-69,7	-1,2	4,5
Perfil 3 -Neossolo Regolítico								
0-20	0-20	6,8	6,6	-0,2	5,0	-106,4	-1,7	6,4
1 ^o C.L	20-40	5,8	4,6	-1,2	8,4	148,9	2,6	3,4
E.L	20-40	5,9	4,9	-0,9	7,3	85,1	1,4	4,0
2 ^o C.L	40-60	5,8	4,4	-1,4	2,9	-179,7	-2,9	3,0
E.L	40-60	5,8	4,6	-1,2	5,3	-31,9	-0,6	3,4

Ψ₀ = 59,1 (PESN – pH) em Mv, carga líquida = (PESN – pH H₂O), ΔpH = pH KCl – pH H₂O, PCZ = estimado com a equação: PCZ = 2pH KCl – pH H₂O (Keng & Uehara, 1974). PESN Estimado por meio do software PESN 1.0.

Este maior valor de pH, em superfície, deve-se a maior soma de bases, produto da incorporação da matéria orgânica nas camadas mais superficiais no manejo anual das culturas. Antes da humificação, o aumento do pH devido a complexação de íons de caráter ácido H⁺ e Al³⁺ livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos, aumentando consequentemente a CTC por soma de bases (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

No P1 os conjuntos de lamelas apresentaram um caráter levemente mais ácido em comparação a camada entrelamelas. Os valores de pH em água foram maiores que os de pH em KCL em todos os perfis e camadas estudados, resultando em valores de ΔpH negativos, o que indica o predomínio de cargas negativas comum em solos pouco intemperizados e consequentemente maior CTC se comparada a CTA (FONTES et al. 2001), como foi visto na tabela 2.

No Perfil 1 o valor do ΔpH nas lamelas foi superior aos valores das entrelamelas, no entanto, foi inferior à da camada 0-20 cm (Tabela 3). Mostrando a parti daí uma contribuição para maior CTC em profundidade decorrente da magnitude das cargas negativas geradas nas argilas lamelares com base nesse atributo.

Nos conjuntos lamelares e entrelamelares de P1, o potencial elétrico e a carga líquida foram negativos (Tabela 3). As lamelas e as camada entrelamelas contribuíram para geração de cargas negativas e essas foram responsáveis pelo aumento de CTC em profundidade. Valores cada vez maiores de carga líquida foram constatados à medida que o pH H_2O foi aumentando. Isto significa que quanto maior for o pH, maior a diferença entre seu valor e o PESN, acarretando assim uma carga líquida maior. Na medida em que o valor do pH do solo vai se aproximando do valor do PESN, essa relação vai se invertendo a tal ponto de se ter o valor do PESN maior do que o pH do solo. Neste caso o potencial elétrico e a carga líquida foram positivos.

O potencial elétrico por se tratar de uma variável dependente do PESN também está vinculado as características mineralógicas da fração argila, onde o sinal negativo apresentado pelas lamelas e entrelamelas é consequência da adsorção de hidroxilas nas arestas quebradas da caulinita, na superfície dos óxidos e hidróxidos, e da ionização de grupamentos funcionais da matéria orgânica (ALBUQUERQUE et al., 2000),

Khawmne et al. (2013) observou que o potencial elétrico de caulinitas isoladas de diferentes solos, tornou-se mais negativo com o aumento do pH da solução do solo, resultado devido a carga superficial variável dependente de pH das caulinitas. O mesmo foi observado nesse trabalho, comparando o potencial elétrico das lamelas com a camada entrelamelas, considerando o maior acúmulo de argila e conseqüentemente mais caulinita.

Nas amostras onde o PESN foi inferior ao do pH H_2O , resultando em valores negativos de potencial elétrico (Ψ_0). O sinal negativo e a magnitude do ΔpH também já indicavam que haveria predominância de cargas negativas, tornando evidente a partir daí que índice ΔpH foi concordante com a carga elétrica líquida e potencial elétrico na maioria das amostras.

O P1 apresentou valores de PCZ variando entre 6,0 e 3,5 (Tabela 3). Sendo o maior valor encontrado na camada 0-20 cm e os menores nas lamelas e camadas

entrelamelas, sem diferença estatísticas entre estes últimos. A utilização da equação proposta por Keng e Uehara (1974) mostrou-se adequada para a estimativa do PESN de P1, levando em consideração a proximidade verificada entre os valores de PCZ estimados pela equação e os valores determinados pelos dados da titulação potenciométrica na maioria das amostras. Esses Resultado foram semelhante foi obtido por Alves (2002) e Coringa e Weber, (2008).

Chaves e Mendes, (2016), trabalhando com Neossolo na Paraíba, observou valores eletroquímicos bastante semelhantes ao expostos nesse trabalho. Em todas as amostras dos solos, os valores do PCZ encontrados foram inferiores aos do pH H₂O, resultando em valores negativos de potencial elétrico (Ψ).

Os maiores valores de PESN do Perfil 1 foram encontrados na camada 0-20 cm (Tabela 3). O PESN diminuiu de 2 a mais de 3 unidades de pH com o aumento de profundidade, atingindo valores de 4,1 e 3,4 no primeiro e segundo conjunto de lamelas, respectivamente, sendo os menores valores do perfil encontrados nas entrelamelas.

Sendo assim seria a natureza caulinita das argilas e consequentemente das lamelas responsável pelos menores valores encontrados de PESN nos conjuntos lamelares de P1. Khawmne (2013), obteve valores de PESN por titulação potenciométricas, variando entre 2,3 a 2,9 para a maioria das caulinitas derivadas de diferentes materiais de origem. Com exceção das amostras derivadas de calcário, que atingiram valores de PESN entre 3 e 4, sendo essa diferença atribuída à presença de impurezas, por exemplo, gibsite e quartzo na caulinita.

Coringa e Weber (2008) em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico e Latossolo Amarelo distrófico típico, obteve valores do PESN variaram de 3,9 a 6,2 unidades de pH, com valor médio de 3,9 em superfície e de 6,0 em subsuperfície, atribuindo o aumento em profundidade ao aumento dos teores de óxidos de Fe e Al. Portanto, os baixos teores desses óxidos típicos em um solo arenoso pouco intemperizado, como é o caso do solo nesse estudo, leva consequentemente à baixos valores de PESN.

A partir de tais resultados é possível verificar que não só as lamelas propriamente ditas contribuem para um aumento de CTC em profundidade, como também o solo entre elas.

O baixo valor de CTA encontrados nesse solo também está relacionado à mineralogia predominantemente caulínica das argilas lamelares. Alves et al. (2012), verificou que os maiores valores de CTA foram observados nos solos menos caulínicos (0,72**) e que os mesmos estiveram diretamente associados aos teores de gibbsita (0,54*) e Al (OH)₃ mal cristalizado (0,71**) na fração argila. Atribuindo a associação negativa entre a CTA e os teores de caulinita possivelmente à maior proporção de grupos -SiOH de superfície observada em solos caulínicos quando comparada à dos solos oxídicos.

Em solos com cargas variáveis o desenvolvimento de cargas positivas de superfície dá-se essencialmente pela protonação de grupos -FeOH e -AlOH presentes em constituintes da fase sólida (RAIJ e PEECH 1972). Assim, é esperado que em solos arenosos, pouco intemperizados e com baixos teores de óxido, seja caracterizado por uma baixa CTA. Nesse trabalho essa associação também pode ser esperada considerando que a única correlação positiva entre CTA e a química do solo observada ter sido com o Fe, (0.30*) e Al, (0.16*).

Khawmne et al. (2013), observou valores de CTA muito próximos a zero, numa faixa de pH que vai 2,5 à 6,5, em caulinitas isoladas de diferentes materiais de origem. Assim, mudanças no pH do solo decorrentes da acidificação do solo, calagem ou adição de quaisquer outras modificações ou práticas podem alterar substancialmente a capacidade de troca catiônica ou aniônica das caulinitas do solo, o que pode influenciar a disponibilidade de elementos nutritivos nos solos.

Os dados de CTC e CTA do perfil 1, corroboraram com as variáveis eletroquímicas obtidos em todas camadas, já que o teor de argila, o baixo valor de CTC encontrado na camada superficial foi associado ao potencial elétrico e carga líquidas positivas, e os maiores valores de CTC encontrados nas lamelas e entrelamelas com o potencial elétrico e carga líquida negativos, como mostra a tabela 3.

Assim como os baixos valores de CTA das lamelas e entrelamelas são típicos de um solo com elevado saldo de cargas variáveis negativas, já que o predomínio de carga líquida e potencial elétrico negativos, somados a PCZ e PESN baixos na maioria das amostras levam a um favorecimento da CTC, em detrimento da CTA. Resultados semelhantes foram observados por (FERNANDES et al. 2008).

Em P2 a camada 0-20 apresentou um potencial e carga líquida nulos, indicando baixa capacidade de troca catiônica em superfície, sendo a maior CTC do perfil encontrada na maior profundidade de coleta seguido do único conjunto de lamelas disponível para coleta (visualizado claramente). Não corroborando a carga líquida e o potencial elétrico positivos apresentados nas lamelas desse perfil.

Segundo Kwawmne et al. (2013) valores positivos de potencial elétrico e carga líquida poderiam ser resultados de uma maior protonação. Onde, a diminuição observada, do valor absoluto do potencial elétrico à medida que o pH em H₂O diminui é devido ao deslocamento de íons de hidrogênio na solução e os grupos hidroxílicos nas bordas das partículas de caulinita.

Nesse perfil as lamelas apresentaram um elevado valor de PESN se comparado à P1, onde esse valor foi similar ao encontrado na camada 0-20. Sendo o menor valor de PESN encontrado entre lamelas. Considerando a semelhança mineralógica encontrada nos três perfis obtida em trabalhos anteriores, pode-se considerar que os valores de PESN foram maiores que o esperado para as amostras do conjunto lamelar de P2 por se tratar de amostras oriundas de um solo arenoso que apresenta uma mineralogia da fração argila que mais contribui para um baixo que para um alto PESN e PCZ.

Assim como a semelhança eletroquímica apresentada entre os perfis, como os valores de CTC e CTA, teoricamente, não permitem valores elevados de PESN. Já que, segundo a literatura, os mesmos fatores químicos e mineralógicos que influenciam o PCZ do solo, influenciam o PESN. Tanto que, em solos tropicais, muitos trabalhos mencionam PCZ, quando na verdade estão estimando PESN por titulações potenciométricas.

Diferentemente do que foi observado comparando as variáveis das lamelas de P2, já que o PCZ apresentou um valor de 4,5 e o PESN um valor de 7,7. Apesar de ter sido utilizado solo da mesma coleta para verificar esses dois atributos considerando o fato da metodologia de PESN ser mais sensível e precisa, além de ter sido avaliada em um software que torna ainda mais eficaz tal precisão, uma hipótese para o elevado valor de PESN no conjunto de lamelas de P2 seria a relacionada com o teor de COT.

Observando os valores de COT da tabela 1 é possível observar que as lamelas de P2 concentraram menos carbono orgânico que a camada 0-20, ao contrário de P1, onde

as lamelas apresentaram um valor de COT bem acima da camada 0-20. Segundo Baldotto et al. (2014), a presença de ácidos orgânicos provoca valores de PESN mais baixos, essa pode ser uma das possíveis explicações para o elevado PESN dessa camada. Assim tais características foram detectadas pela metodologia de PESN e não pela metodologia de PCZ mais simples e experimental. Além do mais, nesse perfil foi difícil detectar as lamelas no momento da coleta, tanto que em P2 foi considerado para estudo apenas um conjunto.

Alves et al. (2002), desenvolveu o software PESN 1.0 em cima de dados de titulação potenciométrica extraídos de oito Latossolos Vermelhos, cinco Argissolos Vermelhos, um Nitossolo Vermelho e a um Neossolo Quartzarênico Órtico. Onde o valor máximo de PESN estimado foi de 6,96 para um Latossolo Amarelo Ácrico, e para o Neossolo Quartzarênico de 3,49.

Nesse estudo o PESN 1.0 estimou valores de PESN de 7,7 nas lamelas de P2, ou seja, para um Neossolo Regolítico esse valor foi muito superior ao encontrado em um Latossolo Vermelho. Os estudos indicam que os solos ricos em óxidos de ferro e de alumínio apresentam PESN mais elevados, entre 7 e 9,2, e para solos ricos em caulinita na fração argila, como é o caso, atribui-se um valor médio de PESN em torno de 4,6 (ALVES e LAVORENTI, 2005, BALDOTTO e VELOSO, 2014).

Em P3, o primeiro conjunto lamelar apresentou PESN de 8,4, enquanto o segundo conjunto lamelar o valor de PESN foi cinco unidades de pH inferior. Assim o alto PESN encontrado no primeiro conjunto de lamelas foi contra o valor de CTC apresentado de 2,64 cmolc/Kg⁻¹, já no segundo o baixo PESN ocorreu junto a CTC de 2,62 cmolc/Kg⁻¹. Sendo as lamelas responsáveis pelos maiores valores de CTC em P3.

No mesmo perfil, o maior valor de PCZ também foi superficial, caindo em até três unidades de pH nas lamelas e camadas entrelamelas, atingindo valores de 3,4 e 3 no primeiro e segundo conjuntos de lamelas respectivamente. Ou seja, sendo o PCZ menor que o pH em água nas lamelas e entrelamelares de P3 ouve, de acordo com esse atributo, um predomínio de cargas negativas em profundidade principalmente nas lamelas refletindo nos maiores valores de CTC do perfil.

Alves e Lavorenti (2005), verificou que a maior discrepância entre os valores de PCZ e PESN ocorreu em amostras com maiores teores de Al^{3+} trocável, onde o baixo valor do PCZ estimado a partir da equação de Keng e Uehara (1974), deve-se principalmente ao abaixamento do pH da suspensão devido à hidrólise promovida por íons Al^{3+} deslocados da fase sólida após o contato com a solução de KCl 1 mol L^{-1} . Essa ser a explicação para as diferenças entre PESN e PCZ obtidas nas amostras de P3, tabela 4, já que as amostras do primeiro conjunto de lamelas e entrelamelas desse conjunto foram as que apresentaram os maiores teores de Al^{3+} do perfil.

No entanto, os valores de PCZ do primeiro conjunto de lamelas de P3 é coincidente com o potencial de cargas negativas apresentado por essas amostras e com a alta CTC, assim pode-se atribuir o elevado valor de PESN do primeiro conjunto de lamelas e camada entrelamelas também ao baixo valor de COT, tabela 1, tanto que, foi mínima a diferença entre o valor de COT dessas amostras e da camada 0-20 nesse perfil.

Nesse estudo, apenas no Perfil 3 foi observado destaque quanto aos valores de CTC das lamelas em comparação as entre lamelas e camada mais profunda (>60 ou >40 cm). Assim é importante salientar que nos três perfis todos os valores de CTC das lamelas foram maiores que os observados na camada 0-20. Desse modo, não apresentando a maior CTC das amostras em P1 e P2, pode-se concluir que as lamelas contribuíram para um saldo de cargas negativas retendo íons na camada de solo acessada pelas raízes das plantas, disponibilizando teores residuais da aplicação de fertilizantes.

A CTC apresentou correlação negativa significativa com pH em água, ($0,68^*$) e pH KCL, ($-0,74^*$). Assim, é possível observar que valores de pH em água próximos a neutralidade e maiores valores de PCZ, como os observados na camada 0-20 de P1, P2 e P3, correspondem à valores de CTC mais baixos. Mostrando que em índices de fertilidade a maior capacidade de troca de cátions de um solo, requer PCZ mais baixos.

4.2 RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS QUÍMICOS E ELETROQUÍMICOS DO SOLO

A partir da caracterização química dos três perfis é possível observar que com relação aos cátions básicos trocáveis o domínio foi do Ca^{2+} e Mg^{2+} ao longo de todos os

perfis, sendo os valores de Ca^{2+} superior ao de Mg^{2+} em todos os casos. A camada de 0-20 foi a que apresentou maiores teores dos cátions básicos e conseqüentemente maior saturação por bases, nos perfis selecionados, justificando também, os valores de pH em água, CTC por soma de bases superiores nessa camada em comparação aos espaços lamelares, tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química dos perfis com lamelas.

Amostras	Prof (cm)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SB	Al^{3+}	Al +H	V	m	P	Fe
		cmolc kg^{-1}							%	mg kg^{-1}		
Perfil 1 - Neossolo Regolítico												
0-20	0-20	0,92	0,4	0,19	0,05	1,63	0,04	0,91	64,23	2,39	28,24	0,1
1 ^o C.L	20-40	0,34	0,32	0,04	0,09	0,79	0,25	1,63	32,63	24,06	3,23	0,08
E.L	20-40	0,28	0,19	0,01	0,04	0,52	0,5	0,8	39,53	48,88	2,23	0,07
2 ^o C.L	40-60	0,27	0,18	0,04	0,04	0,53	0,35	0,88	37,41	40,00	3,12	0,11
E.L	40-60	0,25	0,24	0,01	0,04	0,54	0,52	0,77	41,05	49,26	2,47	0,05
>60 cm	>60	0,35	0,17	0,08	0,04	0,64	0,5	2,75	18,97	43,76	4,55	0,07
Perfil 2 - Neossolo Regolítico												
0-20	0-20	1,16	0,50	0,12	0,06	1,83	0,03	0,5	78,77	1,63	34,89	0,07
1 ^o C.L	20-40	1,15	0,55	0,1	0,13	1,93	0,46	1,2	61,62	19,27	5,03	0,09
E.L	20-40	1,23	0,46	0,1	0,13	1,92	0,55	1,7	53,00	22,32	3,1	0,07
>40	>40	0,52	0,44	0,15	0,05	1,15	0,3	2,8	29,20	20,63	2,9	0,06
Perfil 3 - Neossolo Regolítico												
0-20	0-20	0,95	0,50	0,08	0,04	1,57	0,01	0,6	72,33	0,63	20,63	0,1
1 ^o C.L	20-40	0,54	0,42	0,04	0,12	1,12	0,54	0,9	55,49	32,49	1,6	0,13
E.L	20-40	0,55	0,46	0,04	0,05	1,11	0,66	1,15	49,04	37,36	1,13	0,03
2 ^o C.L	40-60	0,51	0,42	0,04	0,18	1,14	0,5	1,5	43,26	30,42	1,27	0,08
E.L	40-60	0,63	0,42	0,04	0,05	1,15	0,6	1,1	51,03	34,36	1,27	0,06
>60 cm	>60	0,32	0,12	0,08	0,04	0,67	0,01	1,1	37,79	1,47	5,53	0,05

O PCZ, como já foi discutido anteriormente, apresentou valores superiores na camada 0-20 dos três perfis, se comparado com os dados em profundidade e das lamelas com valores variando de 6,0 no P1 a 6,7 no P2 para essa profundidade. Esse resultado, é decorrente dos maiores valores de pH encontrados nessa camada, em razão da maior retenção de cátions de caráter básicos, Ca e Mg, maior soma de bases e saturação por bases e menor saturação por alumínio nas camadas superiores apresentados na análise química. O PCZ apresentou correlação positiva significativa com V% (0.77*) , e uma correlação negativa significativa na ordem com Al (0.66*).

Os menores valores de PCZ dos conjuntos de lamelas dos três perfis (Tabela 3), em comparação a camada 0-20 foram consequência do maior acúmulo de argila nas lamelas comparado a natureza arenosa do restante do perfil (KWAWMNE et al. 2013).

Consequentemente o maior teor de argila silicatada das lamelas leva a um maior teor de carbono orgânico total, como foi observado por em P1, P2 e P3 nas lamelas em comparação a camada 0-20cm, (tabela 1).

O maior valor de carbono orgânico total apresentado pelas lamelas, reflete diretamente em menores valores de PCZ e PESN nos conjuntos lamelares (SPOSITO et al. 2008). A presença de minerais de argila silicatada, com cargas negativas estruturais ou permanentes, tende a diminuir o PCZ e PESN (CORINGA e WEBER, 2008).

No entanto, há estudos que indicam que nem sempre esse efeito da matéria orgânica é detectado. Alves e Lavorenti (2005) registrou que os teores de matéria orgânica não se correlacionaram negativamente e significativamente com os valores de PCZ de suas amostras. A ausência de correlação foi devida à heterogeneidade das frações orgânicas das amostras, ao efeito diferenciado da matéria orgânica sobre o PCZ, que é função da mineralogia do solo, visto que um maior abaixamento do PCZ pela matéria orgânica é geralmente observado em solos mais intemperizados.

A carga proveniente da matéria orgânica tem origem principalmente nos grupos carboxílicos, hidroxílicos, fenólicos, quinônicos e enólicos, os quais contribuem um saldo de cargas negativo. Essa contribuição da carga negativa pela matéria orgânica é mais pronunciada em solos oxídicos dos trópicos úmidos, reduzindo o PCZ desses solos em uma unidade de pH para cada 1 dag kg^{-1} de aumento do teor de C orgânico total (CORINGA e WEBER, 2008).

Contudo, considerando os valores elevados de PCZ, a camada superficial de P1, P2 e P3 não sofreu influência direta da matéria orgânica nos valores de PCZ e PESN, sendo para que nas amostras das lamelas, devido granulometria mais argilosa, refletiu-se tais resultados.

Almeida et al. (2014) também observou uma correlação positiva significativa entre os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , PESN e PCZ, em solos do cerrado mineiro. Isso demonstra que o potencial elétrico do solo é mais significativamente associado com a

disponibilidade desses cátions. Onde ele explica que essa correlação positiva é devida a atributos eletroquímicos de solos com cargas variáveis, o que afeta propriedades como troca de catiônica e disponibilidade de nutrientes. Assim como, a maior disponibilidade de Ca e Mg aumenta a adsorção específica do complexo da esfera interna, levando à formação de cargas positivas nas superfícies dos colóides.

No Perfil 1 os maiores valores de Fe, foram encontrados no segundo conjunto de lamelas e camada entrelamelas, seguido do primeiro conjunto lamelar. No Perfil 2, o maior valor ficou retido no conjunto lamelar, não havendo, no entanto, diferença estatística entre as camadas. Já no Perfil 3, os valores significativos superiores foram encontrados no primeiro conjunto de lamelas, 0,132 mg/L, seguido da camada 0-20 e segundo conjunto lamelar (tabela 4).

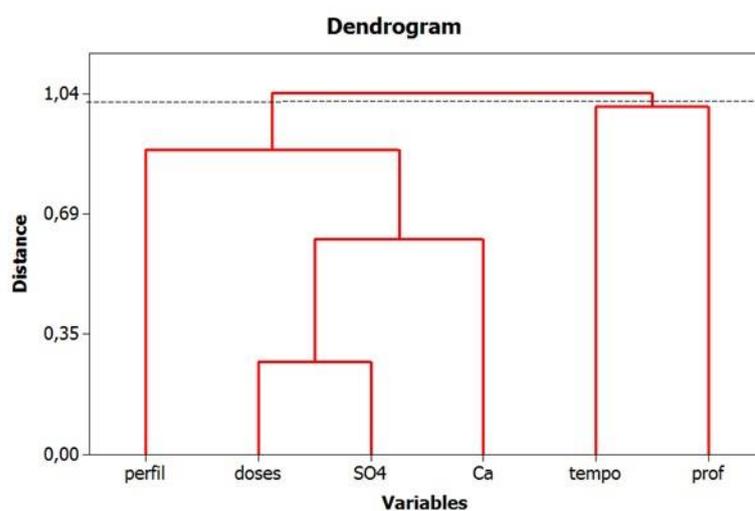
Em todos perfis, foram observadas maiores concentrações de Ferro nas lamelas. Segundo Ober et al. (2017), durante o processo de formação das lamelas, o ferro funciona como agente cimentante, revestindo as mesmas, e as tornando-a ligeiramente dura e fácil de ser destacada do restante do perfil, havendo uma associação entre maiores valores de Fe e maiores valores de PESN no solo.

Sendo que no presente trabalho, os teores de Fe apesar de sua associação com as argilas lamelares, foram relativamente baixos em todas camadas de P1, P2 e P3, para exercer essa função de aumento de PCZ. Em consequência disso, o mesmo não contribuiu para aumento do PCZ das lamelas e entre lamelas. Firmino et al. 2016 nos mesmos perfis e camadas, também obteve resultados baixos de ferro extraídos por DCB (Fed) e por oxalato de amônio (Feo), variando de 0,12 a 0,64 dag kg⁻¹ para Feo, e entre 0,06 a 3,20 dag.kg⁻¹ para o Fed, onde, segundo ele, esses resultados são coerentes com o caráter ácido do material de origem e baixo croma das lamelas, que se apresentam apenas distinguíveis da matriz adjacente quando do solo úmido.

4.3 MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS

Com base no Agrupamento Hierárquico (Figura 2), observa-se a separação em dois grupos neste gráfico, o primeiro com os parâmetros perfil, dose, sulfato e cálcio, e o segundo grupo com os parâmetros tempo e profundidade. Em relação a estes últimos, os agrupamentos sugerem que, de modo geral, quanto mais tempo passa para se coletar as amostras mais elas tendem a se concentrar em maiores profundidades.

Figura 2– Análise de Agrupamentos Hierárquicos com todos os parâmetros.



Pode-se dizer que existe uma dinâmica para o fluxo de íons oriundos do gesso adicionado ao solo no sentido vertical e que percola as camadas em forma progressiva em função do tempo não havendo retenção nas camadas superiores, onde não são encontradas as lamelas. A maior profundidade de coleta nessa etapa do trabalho correspondeu a 20-40 cm, profundidade do conjunto de lamelas de P2 e P3, nessa observa-se à influência direta da maior CTC ligada ao potencial de cargas negativos oriundo das argilas das lamelas. No entanto, foi justamente o perfil não lamelar que se destacou em quantidade de íons retidos em maiores e menores profundidades (Tabela 7).

Tabela 5. Teores de cálcio (cmol_c Kg⁻¹) e sulfato (mg dm⁻³) em P1 após aplicação de gesso.

		Perfil 1 - Neossolo Regolítico					
Níveis %	Profundidade (cm)	Tempo (dias)			Tempo (dias)		
		30	60	90	30	60	90
		Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)			SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)		
0	0-20	0,78 ⁽¹⁾	0,78 ⁽³⁾	0,76 ⁽⁵⁾	0,049 ⁽⁷⁾	0,01 ⁽⁹⁾	0,05 ⁽¹¹⁾
	20-40	0,78 ⁽²⁾	0,65 ⁽⁴⁾	0,71 ⁽⁶⁾	0,06 ⁽⁸⁾	0,08 ⁽¹⁰⁾	0,05 ⁽¹²⁾
50	0-20	1,25	1,17	1,17	0,06	0,03	0,07
	20-40	1,15	0,90	0,83	0,55	0,59	0,53
100	0-20	1,30	1,17	1,17	0,33	0,38	0,41
	20-40	1,60	1,60	0,95	2,27	1,48	1,98
150	0-20	1,70	1,51	1,51	0,54	0,82	0,50
	20-40	1,16	1,43	1,18	1,53	1,3	1,20
200	0-20	1,41	1,32	1,32	1,14	0,66	0,60
	20-40	0,80	1,50	1,05	1,79	1,88	1,47
C.V (%)	0-20	15,03	14,10	12,01	33,73	30,5	23,47
	20-40	20,96	19,20	24,18	7,66	8,4	16,01

(1) $y = 0,874 + 0,008x$ **R² = 0,65 (7) $y = 0,040 - 0,000x$ **R² = 0,41
(2) $y = 0,750 + 0,0134x$ *R² = 0,41 (8) $y = 0,062 + 0,627x$ *R² = 0,47
(3) $y = 0,874 + 0,0083x$ **R² = 0,62 (9) $y = 0,128 + 0,003x$ **R² = 0,50
(4) $y = 0,652 + 0,0612x$ **R² = 0,51 (10) $y = 0,088 + 0,046x$ *R² = 0,42
(5) $y = 0,755 + 0,0257x$ *R² = 0,68 (11) $y = 0,045 + 0,0111x$ *R² = 0,51
(6) $y = 0,737 + 0,0020x$ **R² = 0,68 (12) $y = 0,050 + 0,054x$ *R² = 0,43

C.V. : Coeficiente de variação da análise de regressão. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), referem-se aos resultados derivados das equações acima:

Tabela 6. Teores de cálcio (cmol_c Kg⁻¹) e sulfato (mg dm⁻³) em P3 após aplicação de gesso.

		Perfil 3- Neossolo Regolítico					
Níveis %	Profundidade (cm)	Tempo (dias)			Tempo (dias)		
		30	60	90	30	60	90
		Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)			SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)		
0	0-20	0,98 ⁽¹⁾	1,11 ⁽³⁾	0,84 ⁽⁵⁾	0,16 ⁽⁷⁾	0,14 ⁽⁹⁾	0,09 ⁽¹¹⁾
	20-40	0,96 ⁽²⁾	0,94 ⁽⁴⁾	0,56 ⁽⁶⁾	0,09 ⁽⁸⁾	0,06 ⁽¹⁰⁾	0,08 ⁽¹²⁾
50	0-20	1,32	1,28	1,37	0,14	0,16	0,19
	20-40	1,16	1,02	0,89	0,17	0,1	0,07
100	0-20	1,25	1,39	1,36	0,81	0,63	0,58
	20-40	1,58	1,36	0,88	0,29	0,28	0,30
150	0-20	1,15	1,38	1,58	1,26	1,23	1,31
	20-40	1,02	1,08	1,25	0,55	0,47	0,43
200	0-20	2,06	1,69	1,30	1,10	1,02	0,81
	20-40	2,00	1,21	1,31	1,38	0,84	0,79
C.V (%)	0-20	18,60	10,1	7,53	56,80	55,2	24,52
	20-40	17,41	20,4	21	56,43	52,4	42,36

(1) $y = 0,966 + 0,0181x$ **R² = 0,62 (7) $y = 0,094 + 0,0059x$ **R² = 0,42
(2) $y = 0,956 + 0,0245x$ **R² = 0,66 (8) $y = 0,956 + 0,0245x$ **R² = 0,52
(3) $y = 1,049 + 0,4071x$ **R² = 0,68 (9) $y = 0,071 + 0,0056x$ *R² = 0,42
(4) $y = 0,986 + 0,0280x$ *R² = 0,64 (10) $y = 0,087 + 0,0265x$ *R² = 0,62
(5) $y = 0,842 + 0,080x$ **R² = 0,65 (11) $y = 0,0868 + 0,007x$ *R² = 0,42
(6) $y = 0,926 + 0,078x$ *R² = 0,64 (12) $y = 0,086 + 0,0026x$ *R² = 0,62

C.V. : Coeficiente de variação da análise de regressão. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), referem-se aos resultados derivados das equações acima:

Tabela 7. Teores de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$) e sulfato (mg dm^{-3}) em P4 após aplicação de gesso.

Níveis %	Profundidade (cm)	Perfil 4- Argissolo Acinzentado					
		Ca ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			SO ₄ ²⁻ (mg dm^{-3})		
		30	60	90	30	60	90
0	0-20	1,35 ⁽¹⁾	1,11 ⁽³⁾	1,11 ⁽⁵⁾	0,07 ⁽⁷⁾	0,07 ⁽⁹⁾	0,07 ⁽¹¹⁾
	20-40	1,06 ⁽²⁾	0,94 ⁽⁴⁾	0,90 ⁽⁶⁾	0,13 ⁽⁸⁾	0,11 ⁽¹⁰⁾	0,13 ⁽¹²⁾
50	0-20	1,63	1,28	1,28	0,36	0,36	0,36
	20-40	1,17	1,02	0,98	0,37	0,20	0,15
100	0-20	1,40	1,39	1,39	0,68	0,68	0,68
	20-40	1,54	1,36	1,31	0,77	1,2	1,31
150	0-20	1,38	1,38	1,38	1,23	1,22	1,23
	20-40	1,45	1,08	1,0	1,56	1,32	2,24
200	0-20	1,33	1,68	1,68	1,28	1,27	1,28
	20-40	1,55	1,21	1,11	2,02	2,15	2,11
C.V (%)	0-20	13,19	13,85	13,2	74,94	74,30	74,94
	20-40	13,67	18,40	18,4	43,50	47,20	52,02

(¹) $y = 0,856 + 0,0545x$ R² = 0,79 (⁷) $y = 0,072 + 0,006x$ R² = 0,58
(²) $y = 1,105 + 0,0021x$ R² = 0,78 (⁸) $y = 1,105 + 0,0024x$ R² = 0,51
(³) $y = 0,863 + 0,055x$ R² = 0,74 (⁹) $y = 0,163 + 0,0160x$ R² = 0,52
(⁴) $y = 0,680 + 0,0239x$ R² = 0,71 (¹⁰) $y = 0,049 + 0,014x$ R² = 0,51
(⁵) $y = 0,0868 + 0,006x$ R² = 0,79 (¹¹) $y = 0,0700 + 0,006x$ R² = 0,51
(⁶) $y = 0,942 + 0,0167x$ R² = 0,78 (¹²) $y = 0,097 + 0,0155x$ R² = 0,51

C.V. Coeficiente de variação da análise de regressão. (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), referem-se aos resultados derivados da equações acima

O outro agrupamento formado sugere que quanto maior as doses do gesso aplicadas mais se obtêm concentrações de cálcio e sulfato e esse comportamento é mais representativo em relação ao perfil de P1 para P4.

A concentração de íons de sulfato e cálcio segue a ordem $P4 > P3 > P1$, (Tabelas 5, 6 e 7), ou seja, o aumento das doses eleva a presença dos íons em profundidade, sendo essa concentração em profundidade maior no perfil que não tem lamelas, intermediária no perfil com menor número de lamelas e menor no perfil com maior número de lamelas. Essas relações são compatíveis com a elevação da quantidade de cargas negativas nos solos com lamelas, mesmo o perfil sem lamelas sendo ligeiramente mais argiloso que os demais. Apesar de P1 e P3 serem classificados como Neossolos Regolíticos e possuírem características mineralógicas semelhantes, houve diferença quanto a capacidade de retenção de íons de Ca^{2+} e SO_4^{2-} entre eles. Essa diferença está vinculada distribuição e participação das lamelas na profundidade estudada, maiores no P1.

Em condições naturais, na camada 0-20 e 20-40 (primeiro conjunto de lamelas) de P4 o teor de cálcio é superior ao encontrado nas mesmas camadas em P1, visto o manejo distinto desses solos no que se refere a dosagem e frequência de adubos orgânicos

adotados nessas propriedades. Assim uma das possíveis explicações levando-se em consideração a química para a resposta $P4 > P3 > P1$ com relação ao cálcio, é que o mesmo adicionado ao solo via gesso, foi somado ao cálcio já existente nos perfis, refletindo em diferentes resultados. Mesmo assim, os valores de CTC encontradas, onde os valores de CTC em P1 na camada 0-20 e 20-40, corresponderam à 1,17 e 2,53 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente e em P3, corresponde a 0,54 e 2,64 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, tabela 2.

Como foi apresentado na tabela 3, houve diferença quanto aos valores de PCZ para a camada 0-20 de P1 e P3, onde P3 apresentou o maior PCZ nessa camada, na camada 20-40cm o resultado foi o inverso. Mesmo diante dessa diferença o sinal do ΔpH foi negativo para ambos perfis e camadas, apenas a magnitude do ΔpH foi diferente. O P3 apresentou ΔpH mais negativo em ambas camadas, em decorrência dos maiores valores de $\text{pH H}_2\text{O}$ e pH KCL . Resultando em uma maior capacidade de adsorção de íons em P3.

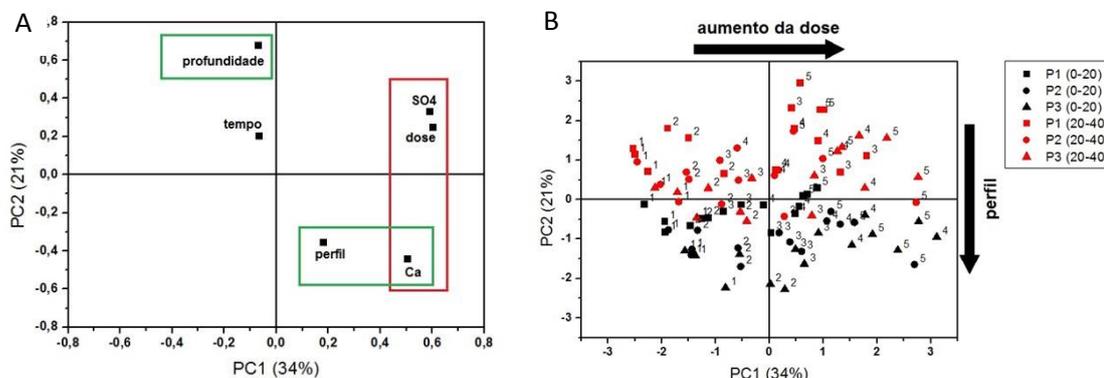
A análise de Componentes Principais (ACP) reduziu o número de dados brutos (concentrações de cálcio e sulfato, tempo de coleta, dose e profundidade) em um espaço bidimensional inicial de PC1 e PC2 e outro com PC1 e PC3. A redução da dimensionalidade geralmente ocorre para representar, muitas informações, em um espaço bidimensional, mas neste caso é importante analisar o efeito do tempo, da profundidade e o perfil quanto a dose de gesso aplicada. Sabendo que cada componente principal (PC) representa um conjunto de observações, como descritas das equações abaixo:

- $\text{PC1 (34\%)} = 0,18*\text{perfil} - 0,066*\text{tempo} + \underline{0,599*\text{dose}} - 0,071*\text{profundidade} + \underline{0,502*\text{Ca}} + \underline{0,589*\text{SO}_4}$
- $\text{PC2 (21\%)} = - \underline{0,355*\text{perfil}} + 0,204*\text{tempo} + 0,251*\text{dose} + \underline{0,681*\text{profundidade}} - 0,44*\text{Ca} + 0,334*\text{SO}_4$
- $\text{PC3 (17\%)} = - 0,209*\text{perfil} + \underline{0,879*\text{tempo}} + 0,111*\text{dose} - 0,414*\text{profundidade} + 0*\text{Ca} + 0*\text{SO}_4$

Os termos sublinhados indicam a maior variância observada em cada eixo, e assim com as três primeiras componentes é possível obter 72% de toda a informação do sistema.

O gráfico obtido por ACP para os dois primeiros componentes principais PC1 e PC2 mostra também o comportamento dos parâmetros profundidade e tempo através do agrupamento na porção negativa do eixo PC1 e os demais parâmetros sulfato, cálcio, dose e perfil na porção positiva do mesmo eixo (Figura 3A).

Figura 3. Gráfico dos parâmetros obtidos por ACP (A) e gráfico das medidas obtidos por ACP (B).



Inicialmente esse gráfico sugere que as doses aplicadas e concentrações analisadas de cálcio e sulfato são mais correlacionadas com as características dos perfis, e pouco significativo com a variação de profundidade dentro do perfil, juntamente com o tempo de coleta, indicando uma maior proximidade das características eletroquímicas entre as camadas 0-20 e 20-40cm dentro dos perfis que entre eles. No entanto foi possível observar na caracterização eletroquímica, tabela 3, uma grande variação entre as camadas de P1 e P3, inclusive entre as variáveis relacionadas diretamente a retenção de íons como o PCZ.

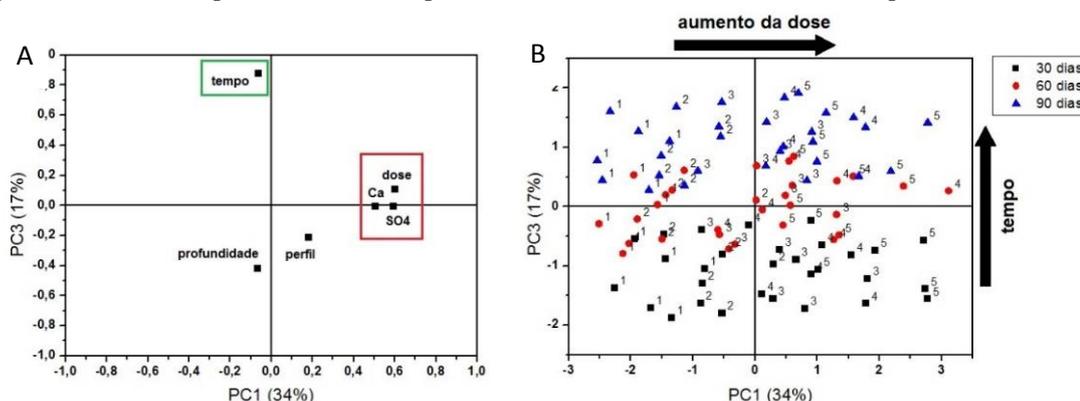
Outra observação deste mesmo gráfico consiste em observar o eixo PC2, que mostra o agrupamento da profundidade e tempo junto com a concentração de sulfato e a dose aplicada, e na porção negativa deste eixo o agrupamento do perfil e a concentração de Ca^{2+} do solo. Neste caso, tendo a profundidade como parâmetro determinante do eixo PC2 com 21% da informação, as maiores doses aplicadas refletem maior concentração de sulfato juntamente com o tempo de coleta maior. As características dos perfis são mais determinantes na retenção do cálcio que de sulfato. Isso é decorrente da eletroquímica dos perfis, tabela 3, que os leva a ter maior CTC, em detrimento da CTA, tabela 2. Nesse contexto de maior CTC todas camadas apresentam maior afinidade e respostas a retenção de Ca^{2+} que SO_4^{2-} adicionados. Também se observa que o sulfato tende a se concentrar mais em níveis mais profundos independente do perfil do solo, sendo proporcional a dose de gesso aplicada.

No gráfico da figura 3 (B), onde P1=P1, P2=P3 e P3=P4, observam-se a disposição das análises em função de PC1 e PC2, agrupadas pela profundidade, sendo de 0-20 cm de cor preta e 20-40 cm na cor vermelha. No eixo PC1 estão as análises dispostas

em ordem crescente da dose aplicada no sentido da esquerda para direita. De forma geral, porém com representatividade inferior ainda é possível observar que o perfil varia do P1 mais acima na porção positiva de PC2 em direção ao perfil P4 na porção negativa do mesmo eixo.

De acordo com a figura 4 (A) da Análise de Componentes Principais desta vez com as componentes PC1 e PC3, ressalta-se a maximização da informação para o parâmetro tempo, uma vez que é necessário analisar o sistema de aplicação da solução de gesso em função do tempo de coleta.

Figura 4. Gráfico dos parâmetros obtidos por ACP (A), Gráfico das medidas obtidos por ACP (B).



Neste gráfico a dose continua sendo agrupado com o cálcio e sulfato no eixo positivo de PC1, e segue em oposição ao tempo e profundidade, ou seja, esse comportamento sugere o aumento da dose e aumento da concentração de cálcio e sulfato é indiferente do tempo de coleta das análises. Sugerindo que se o experimento fosse conduzido a apenas 30 ou 60 dias os teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} seriam praticamente os mesmos obtidos aos 90 dias. No entanto, estariam concentrados em camadas mais superficiais dentro dos perfis. Esse resultado pode estar relacionado as características climática, em especial, a pouca diferença entre a pluviosidade dos dois primeiros meses de condução do experimento (Junho – Julho).

A disposição das amostras na figura 4 (B) evidencia seu comportamento do aumento da dose em função do tempo, e como é evidente estão em eixos distintos e possuem pouca ou nenhuma correlação.

Com base na análise dos dados expostos na tabela (5,6 e 7) é possível observar a relação do tempo junto com a profundidade, onde os valores de T1 tanto para Ca^{2+} quanto para SO_4^{2-} em todos os perfis e camadas é sempre maior aos valores de T2 e T3, principalmente em doses superiores. No entanto essa dinâmica de concentração de íons na maior profundidade é característica mais marcante do SO_4^{2-} , desde a primeira coleta e com base na testemunha, já que em teor mais Ca^{2+} ficou retido superficialmente em todos perfis e dosagens.

É importante ressaltar que, apesar de se concentrar em superfície o Ca^{2+} com o decorrer do tempo também foi lixiviado, mesmo que em menor quantidade, para a camada 20-40cm em todos perfis e dosagens.

Observando mais detalhadamente a dinâmica dos íons no decorrer do tempo nas duas profundidades, é possível observar que as cargas geradas em P1 e P3 foram responsáveis pela retenção de Ca^{2+} e SO_4^{2-} , principalmente no início do experimento, seguindo as crescentes doses de gesso (Tabela 5, 6).

Na camada 0-20 cm do P1 nos tempos 1 e 2, o teor de Ca^{2+} aumentou progressivamente até o nível de 150%. Os dados também indicam que a dose com o dobro do recomendado contribuiu para aumento da lixiviação do Ca^{2+} em P1 na camada superficial, já que o aumento do dobro da dose não aumentou significamente o cálcio no solo (Tabela 5)

Em P1 na camada 0-20 na dosagem maior é possível observar um menor teor de íons de Ca^{2+} nos tempos 1 e 2 se comparado a camada 20-40 nos mesmos tempos, ou seja, após solubilização do gesso nessa dosagem mais Ca^{2+} foi lixiviado que permaneceu em superfície. Podendo-se atribuir essa acentuada lixiviação na camada 0-20 no início do experimento além do excesso de cátions em solução às características eletroquímicas de P1. Onde o elevado pH, potencial elétrico positivo somado a carga líquida positiva, alto PCZ e PESN indicam um predomínio de cargas variáveis de caráter positivo. Assim a falta de afinidade das cargas geradas nessa camada com os íons de Ca^{2+} justificam essa movimentação.

Segundo Freire et al. (2007), de maneira geral, pode-se dizer que diferentes fatores condicionam maior ou menor movimentação dos cátions de caráter básico pelo

perfil do solo, entre os quais destacam-se a quantidade de gesso aplicado ao solo associada as características eletroquímicas como: capacidade de troca catiônica do solo, condutividade elétrica da solução do solo, capacidade do solo em adsorver sulfato.

Alcântara e Camargo (2010), verificaram que ao decorrer do tempo o gesso contribuiu para abaixamento do PCZ e PESN, e conseqüentemente para um aumento os sítios negativos que podem mobilizar íons de Ca^{2+} , fato que pode ser confirmado pela pouca variação no teor de Ca^{2+} nos tempos 2 e 3 para a profundidade 0-20 cm. Considerando o fato que até essa etapa da condução do experimento todo gesso teria sido solubilizado pela água da chuva.

Como na camada 20-40 cm devido o predomínio de um potencial elétrico, cargas líquidas e ΔpH negativos oriundos das lamelas e entrelamelares, os picos de absorção foram observados para as dosagens adicionadas a partir da recomendação, onde a quantidade de sítios de absorção aumentaram a retenção de cátions além da dose de gesso recomendada.

Considerando o fato da fonte principal das cargas negativas nessa camada é a protonação e desprotonação nas bordas quebradas das caulinitas, e considerando também a maior concentração de carbono orgânico total na lamelas, como já foi discutido anteriormente, a retenção dos íons, calcio, no caso, foi insignificante para as doses de gesso superior àquela recomendada para o solo. Essa mesma dinâmica do cálcio ocorreu na camada 20-40 de P3 (Tabela 6).

Em P3, o comportamento foi diferente, a saturação do solo com íons de Ca^{2+} no maior tratamento fez com que a camada 0-20 apresentasse um maior teor do cátion e conseqüentemente menor lixiviação para a camada mais profunda, pelo fato do maior potencial e carga líquida negativa nessa camada (Tabela 3), observa-se maior retenção de cálcio nessa camada mesmo em dosagens acima do recomendado.

Já em P4, houve muito pouca variação entre os teores de íons de cálcio comparando as duas camadas. Considerando o fato desse perfil não apresentar acumulação de argilas em faixa e faces lamelares em sua estrutura, a falta dessa variação pode ser conseqüência da normalidade existente entre as características eletroquímicas e,

portanto, das cargas ao longo do perfil seguindo a tendência de acumulação típica de argila no Argissolo (Tabela 7).

Soratto e Crusciol (2008) observaram que, a adição de gesso e subsequente lavagem, elevou de forma significativa o teor de cálcio no solo em profundidades maiores, onde o autor justificou esse comportamento pela redução da condutividade elétrica (CE) em função da aplicação das doses de gesso, melhorando as condições do solo e reduzindo a sodicidade ao longo do perfil.

É possível associar os valores ainda significativos de sulfato na camada 0-20 cm de P1 ao caráter eletropositivo dessa camada de solo (Tabela 3). Uma vez que o sulfato possui uma maior afinidade à sítios de cargas positivas, a adsorção que pode variar de considerável, à quase nula (SANTOS et al. 2013), em função da magnitude das cargas líquidas, dependendo do solo.

Em P1, os maiores teores de sulfato se concentraram em maiores profundidades, (Tabela 5). Nessa camada, as maiores concentrações foram obtidos na dosagem recomendada (100%), mostrando que doses além do recomendado nesse tipo de solo além de desperdício leva à aumento de ânions lixiviados para profundidades maiores, certamente pelos mesmos motivos que levaram ao aumento da lixiviação de cátions, na forma de pares iônicos neutros (Rocha, 2008).

O mesmo pode ser considerado para explicar a presença sulfato na camada 20-40 cm de P3 em T1 quando submetido a dosagem maiores. Tendo esse valor como observado nos gráficos, diminuído drasticamente nas coletas subsequentes, (Tabela6).

Em P4, assim como observado com o cálcio, não houve grandes variações com relação as camadas 0-20 e 20-40 com relação à retenção do sulfato. Sendo os maiores valores de sulfato desde o início do experimento concentrado em profundidade maior, (Tabela 7).

Levando em consideração o fato de quanto maior o tempo mais profundas se torna a distribuição de Ca^{2+} e SO_4^{-2} , o fator climático mais importante a ser considerado é a precipitação, principalmente nos primeiros meses. Com base nos dados do APAC os meses de junho e julho foram os mais chuvosos do inverno de 2016. Portanto, se a implantação das microparcelas tivesse ocorrido em outra época de estiagem, a falta de

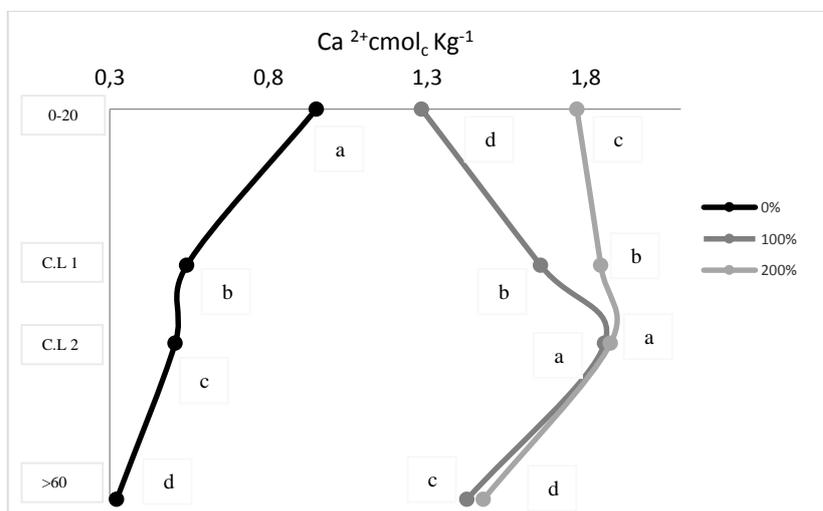
lavagem do solo por precipitação, comprometeria a percolação da solução de gesso perfil a baixo.

4.4- INFLUÊNCIA DAS LAMELAS NA MOVIMENTAÇÃO DE ÍONS NO SOLO

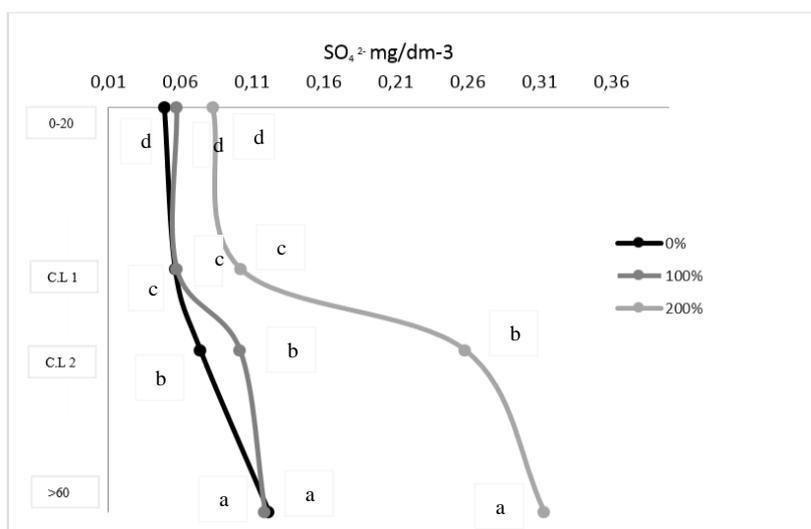
Na avaliação dos teores de Ca^{2+} e SO_4^{2-} do perfil 3 aos 90 dias, observa-se que as lamelas foram responsáveis pela maior retenção do cálcio nas dosagens de 100% e 200% (Figura 6-A).

Figura 6: Movimentação de Ca^{2+} (A) e SO_4^{2-} (B) nos níveis 0%, 100% e 200% em P3 aos 90 dias após a aplicação de gesso, na camada 0-20, primeiro conjunto de lamelas (C.L1), segundo conjunto de lamelas (C.L2) e camada > 60 cm. letras diferentes em cada profundidade diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A



B



Assim, aos 90 dias após a aplicação do gesso e após o período chuvoso, o Ca^{2+} adicionado ao solo foi lixiviado para camadas mais profundas sendo atraído pelas cargas negativas originadas da matéria orgânica e da desprotonação de oxigênio e hidroxilas terminais provenientes da caulinita nas estruturas lamelares de 20-60 cm, ou seja, primeiro e segundo conjunto de lamelas no perfil.

No entanto é importante salientar que essa movimentação do cálcio pode ter ocorrido em função da afinidade com o sulfato, onde a movimentação do par iônico CaSO_4 , permitiu carreamento e aumento nos teores de Ca^{2+} em maiores profundidades (FREIRE et al. 2007), podendo a partir daí ser mobilizado pelas cargas negativas nas lamelas, levando em consideração o fato do cálcio ser pouco móvel.

Como foi apresentado anteriormente na caracterização eletroquímica, tabela 3, as lamelas de P3, em especial, o segundo conjunto de lamelas e entrelamelas desse conjunto, foram responsáveis pela geração de um potencial elétrico, carga líquida e Δ pH negativos em profundidade. Além disso, o primeiro e segundo conjunto de lamelas de P3 apresentaram uma CTC superior àquela encontrada na camada 0-20. Assim nota-se que a eletroquímica das argilas das lamelas foi a responsável pela sua afinidade com o Ca^{2+} oriundo das dosagens de 100% e 200% do gesso. No entanto, mesmo na dosagem 0% que corresponde a testemunha do solo, apesar da camada 0-20 concentrar mais Ca^{2+} , os conjuntos lamelares foram responsáveis por reter uma quantidade considerável do cátion, provavelmente decorrentes de aplicações anteriores de insumos, (Figura 6).

A aplicação do gesso, aumentou o teor de cálcio e sulfato em todas camadas de P3. O mesmo foi observado por Ferraz et al. (2015) e Boldotto e Veloso (2008), que apesar de não estarem trabalhando com solos lamelares, puderam verificar que a aplicação de gesso agrícola promoveu aumentos nos teores de Ca^{2+} trocável e SO_4^{2-} , além da diminuição no teor de Al^{3+} trocável no solo, contribuindo para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas do subsolo de 20-60cm.

A dosagem de gesso além do recomendado para o solo em questão, mostrou aumento de Ca^{2+} e SO_4^{2-} na camada 0-20 cm. Como observado por Serafim et al.(2012) em um Latossolo gibítico, onde segundo ele doses crescentes de gesso alterou o PCZ do solo e aumentou a lixiviação dos cátions Mg^{2+} e K^+ , Ca^{2+} e do ânion SO_4^{2-} .

Cremon e Serafim (2009), verificou que o gesso agrícola, foi eficiente na mobilização dos cátions no perfil do solo, apresentando maiores valores de soma de bases na camada de 20-30 cm. Os autores atribuíram isso à presença de maiores quantidades de matéria orgânica do solo nessa camada, conduzindo à formação de “sítios de matéria orgânica” enriquecidos com Ca^{2+} e Mg^{2+} causando aumento na disponibilidade desses nutrientes em camadas mais profundas.

Reforçando a ideia de que as cargas negativas decorrentes da maior CTC encontrada nos conjuntos de lamelas em estudo realizado por Firmino (2016), junto com a mineralogia da fração argila, seriam responsáveis pela maior mobilização do Ca^{2+} nessas camadas em comparação ao restante do perfil.

O ânion SO_4^{2-} naturalmente concentra-se nas camadas mais profundas do solo em decorrência da sua alta mobilidade e neutralidade, o que pode ser observado na testemunha, figura 6 (B). A maior retenção do SO_4^{2-} nas camadas mais profundas do solo pode ser atribuída também aos maiores valores de pH observados na camada 0-20, como já foi discutido anteriormente. A elevação do pH promove a predominância de cargas elétricas negativas, diminuindo o PCZ, e favorecem a movimentação do SO_4^{2-} perfil a baixo (BALDOTTO e VELOSO, 2008).

A lixiviação no solo de SO_4^{2-} não acontece na forma de ânion, mas na forma de compostos formados com outros cátions presentes no solo destacando o K^+ e o Mg^{2+} , sendo sua maior afinidade com o Ca^{2+} como seus íons acompanhantes, formando os pares iônicos neutros: K_2SO_4 , CaSO_4 e MgSO_4 . Em função da sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo (CREMON e SERAFIM, 2009).

Devido a neutralidade dos pares iônicos formados, maior parte do SO_4^{2-} passa direto pela superfície carregada das argilas das lamelas e é depositado na camada >60cm, ao contrário do que foi observado na movimentação do cátion, as lamelas não exercem função de barreira para movimentação do ânion, em decorrência da neutralidade dos pares iônicos formados com sulfato e da baixa CTA apresentada pelo solo.

A aplicação de gesso leva a formação de novos sítios de absorção. A medida que um fertilizante se movimenta ao longo do perfil é observado

aumento na força iônica da solução do solo, com consequente aumento na densidade de cargas, positivas ou negativas, o que favorece o surgimento de sítios de adsorção. Assim quando é aplicado gesso em um solo com predomínio de cargas negativas, o sulfato, apesar de movimentar-se em forma de pares neutros com cátions, ocupa preferencialmente os sítios de carga positiva, que resulta em adsorção quase nula e aumenta a lixiviação de ânions (ALCÂNTARA e CAMARGO, 2010).

Por essa razão o SO_4^{2-} , ocupou sítios de carga positivas, ainda que esses sejam em pequena quantidade, na camada 0-20, primeiro conjunto de lamelas e entrelamelas de P3. Contribuindo a partir daí para uma maior CTC, e consequentemente, maior retenção de íons de Ca^{2+} nessas camadas.

Assim, o aumento dos teores de Ca^{2+} trocável e SO_4^{2-} em decorrência da aplicação crescentes de gesso e a significativa mobilização principalmente do Ca^{2+} nas lamelas não é apenas decorrente da maior CTC das argilas lamelares, mas também do incremento dessa CTC provocado pelo uso do gesso.

5- CONCLUSÃO

1. O PESN encontrado nas lamelas variou de 2,9 à 8,4.
2. O PESN foi maior nas lamelas do que nos espaços entrelamelas, com exceção apenas no segundo conjunto de lamelas de P3.
3. A carga líquida das lamelas variou de 2,6 à -2,9, enquanto que nos espaços entrelamelas variou de 1,4 à -2,6.
4. As lamelas foram responsáveis pelo aumento da CTC em profundidade nos três perfis selecionados com ocorrência dessas estruturas.
5. Os conjuntos de lamelas apresentaram os menores valores de pH dentro dos perfis, refletindo diretamente em menores valores de PCZ.
6. A aplicação de gesso aumentou os teores de cálcio trocável e sulfato nas profundidades 0-20 e 20-40 cm em um perfil de Neossolo com lamelas.
7. O aumento dos teores de cálcio foi diretamente influenciado pelas características eletroquímicas de cada perfil, enquanto o aumento nos teores de sulfato foi mais relacionado com as doses.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E. Enxofre. Viçosa. ABEAS, 1994, p 870.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 24, p. 295-300, 2000.

ALCÂNTARA, M.A.K.; CAMARGO, O.A. Manipulação de carga e movimento de nitrato em horizontes B de um Latossolo Vermelho, *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, vol.45, n.2, p.204-212, 2010.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Potencial elétrico superficial e carga elétrica líquida de Latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.18, p.181-185, 1994.

ALMEIDA,A.V.; CORRÊA, M.; LIMA,J.R de S., SOUZA, E.S.de, SANTORO, K.R, ANTONINO. Atributos Físicos Macro e Micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.39 p. 1235-1246, 2015.

ALMEIDA, R.R., QUEIROZ, I.D.S.; MARTINS, F.P.; MACHADO, H.A.; Cation availability and electrochemical conditions in oxisols modified by land use and management systems in the region of Triângulo Mineiro, Brazil. **Academic Journals**, Vol.9, p.1124-1129, 2014.

ALVES, M. E., LAVORENTI, A. Point of zero salt effect: Relationships with clay mineralogy of Representative Soils of the São Paulo State, Brazil. *Pedosphere*, **Science Press Beijing**, p. 545-553, 2005.

ALVES, M.E.; ATRIBUTOS MINERALÓGICOS E ELETROQUÍMICOS, ADSORÇÃO E DESSORÇÃO DE SULFATO EM SOLOS PAULISTAS, Piracicaba-SP, 2002.

ANDREGUETTO, L. G., PINHEIRO, A., KAUFMANN, V., & do REIS CASTRO, N. M. (2015). Transporte de Cátions no Perfil do Solo Sob a Influência de chuvas intensas. **Revista de Estudos Ambientais**, vol. 16, p 57-66, 2015.

APAC, Agência Pernambucana de água e clima, acessado em 23/05/2017.

BOCKHEIM, J. G.; HARTEMINK, A. E. Classification and distribution of soils with lamellae in the USA. **Geoderma**, vol. 206, p, 92–100, 2013.

BOCKHEIM, J. G. Soils with Lamellae. In Soil Geography of the USA, **Springer International Publishing**, p. 283-300, 2014.

BOCKHEIM, J. G. Classification and distribution of soils with albic horizons in the USA: A preliminary analysis. **Geoderma**, vol 262, p. 85-93, 2016.

BOCKHEIM, J. G. Properties and genesis of Argialbolls in the USA. **Geoderma**, vol. 255, p. 73-80, 2015.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.T.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 380-390, 2012.

BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, C.X.; Eletroquímica de solos modais e de sua matéria orgânica em ambientes tropicais, **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.6, p. 1012-1021, 2014.

BLUM, S. C.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. **Geoderma**, v. 200-201, p. 156-164, 2013.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28, p.125-136, 2004.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; OLIVEIRA, L.M.; BARBOSA, S.M.; SILVA, E.A. Soil water retention under conservation management system with different gypsum doses, **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 58, p. 284-291, 2015.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee

roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil & Tillage Research**, vol. 145, p. 171-180, 2015.

CORINGA, E.A.O; WEBER, O.L.S Ponto de efeito salino nulo de latossolos da microbacia chico nunes, mato grosso. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, vol. 32, pag. 441-448, 2008.

COSTA, L.M.; MORAIS, E.J.; RIBEIRO, A.C. & FONSECA, S. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes coberturas florestais. **R. Ceres**, vol. 177, pag. 351-359, 2008.

COSTA, N.R; ANDREOTTI M.; LOPES, K.S.M. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, vol. 39, pag.852-863, 2015.

COSTA, L.M.; MORAIS, E.I.; RIBEIRO, A.C.; FONSECA, S. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes coberturas florestais. **Revista Ceres**, v.31, p.351-359, 1984.

CHAVES, L.H.G.; MENDES, J.S. Propriedades eletroquímicas de solos eletronegativos influenciadas pela adição de biocarvão, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2016.

CREMON, C.; JUNIOR, E.J.R.; SERAFIM, M.E.; ONO, F.B.; Análise Micromorfométrica de agregados de um Lotossolo Vermelho Distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Maringá**, v. 31, p.139 – 146, 2009.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo 2ª edição. EMBRAPA solos, Rio de Janeiro. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - Centro Nacional de Pesquisa em Solos - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª edição. Brasília, DF, 2013.

FERRAZ, R.L.S.; BARBOSA, M.A.; FRANCO, F.O.BATISTA, J.L. Gessagem em cana de açúcar efeitos no solo e produção, Informativo Tecnico do Semiárido, v.9, p. 70-79, 2015.

FERNANDES, J.D.; CHAVES, L.H.G.; OLIVEIRA, F.H.T.; FARIAS, D.R.; Ponto de efeito salino nulo e cargas elétricas de solos do estado da paraíba. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 147-155, 2008,.

FIRMINO, F.H.T.F Gênese de lamelas em uma litotoposequência no semiárido brasileiro. Tese de Mestrado, UFRPE, 2016.

FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.; ROCHA, A.T. gesso mineral do araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de pernambuco, brasil. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vol. 4, p.199-213, 2007.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Sci. Agric.** Vol. 58, p.627-646, 2001.

FURQUIM, S. A.C.; COLTRINARI, L.; FERREIRA, R. P. D.; CASTRO, S. S.; PUGLIESE, G. R. Lamellae formation processes in tropical soils in southeastern Brazil. **Catena**, vol. 107 , p.15–25, 2013.

GARCIA, R.V.; OLIVEIRA, M.L, MELLO, J.W.V. Alteração do caráter eletroquímico de um latossolo vermelhoamarelo do Estado de São Paulo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimontes científica**. Montes Claros, v.5, 2003.

GILLMAN, G.P. Influence of organic matter and phosphate content on the point of zero charge of variable charge components in oxidic soils. *Austr. J. Soil Res.*, 23:643-646, 1985.

KENG, J.C.W. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proc. Soil Crop Sci. Soc.**, vol. 33, p.119-126, 1974.

KHAWMEE, K.; SUDDHIPRAKARN, A.; KHEORUENROMNE, I. SINGH, B. Surface charge properties of kaolinite from thai soils, **Geodema**, v. 192, p. 120-131, 2013.

MEKARU, T., & UEHARA, G. "Anion adsorption in ferruginous tropical soils." *Soil Science Society of America Journal* 36.2 (1972): 296-300.

OBEAR, G.R.; PEDERSEN, M.; KREUSER, W.C. Genesis of clay lamellae in golf course soils of Mississippi, USA. **Catena** , v. 150, p.62–70, 2017.

OLIVEIRA, J. A. S. de Propriedades hidrodinâmicas de Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga no Agreste Pernambucano/José Aildo Sabino de Oliveira Junior. 90f. Garanhuns, 2013, (Dissertação).

OLIVEIRA, D. As bandas onduladas e sua influência na evolução do relevo em São Pedro-SP (Brasil). **Geosul, Florianópolis**, v. 24, n. 47, p 161-186, 2009.

RAMOS, B.Z.; FLORIANO, JP.V.; LIMA,J.M. d.; GUILHERME, L.R.G.; SERAFIM, M. E.; GUIMARÃES, P T. G.; COSTA, E.T S.; COSCIONE, A.R. Especiação química a solução de um Latossolo sob cultura do cafeeiro com altas doses de gesso, 2012.

RAWLING, J. E. A review of lamellae. **Geomorphology**, vol. 35, p.1-9, 2000.

RAIJ, B.V.; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Science. **Society of America Proceedings**, v. 36, p. 587-593, 1972.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C, SANTOS, RAWLING, J. E. A review of lamellae. **Geomorphology**, vol. 35, p. 1-9, 2000.

ROCHA, A.T.; Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.3, p.307-312, 2008.

ROLIM,; F.C.. SANTOS, M.C.D. Gênese de solos arenosos com lamelas no agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, vol. 18, p. 243-253,1994.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 6. ed. Viçosa. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 100p, 2013.

SANTOS, L. J. C.; CASTRO, S. S. Lamelas (Bandas Onduladas) em Argissolo Vermelho-Amarelo como Indicadores da Evolução do Relevo: o caso das colinas médias do Platô de Bauru (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, p. 43-6, 2006.

SOROTTO, R.P.; CRUSCIO, C.A. atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado, **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SPOSITO, G. Surface reactions in natural aqueous colloidal systems. **Chimia**, v.43, p.169-176, 1989.

PARAHYBA, R. B. V. Geoambientes, litotopossequência e características físico-hídricas de solos arenosos da Bacia do Tucano, Bahia. – Recife, 2013.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30 p. 911-920, 2008.

SCHWERTMANN, U.; LATHAM, M. Properties of iron oxides in some New Caledonian Soils. **Geoderma**, v.39, p.105-123, 1986.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 6. ed. Viçosa. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 100p, 2013.

SANTOS, L. J. C.; CASTRO, S. S. Lamelas (Bandas Onduladas) em Argissolo Vermelho-Amarelo como Indicadores da Evolução do Relevo: o caso das colinas médias do Platô de Bauru (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7.1 (2006).

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Oxford. 330p, 2008.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso Bragantia, **Solos e Nutrição de Plantas**, vol. 71, p. 75–81, 2012.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, J. C. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

SHARMA, A.; WEINDORF, D.C.; WANG, D.; CHAKRABORTY, S. Characterizings soils via portable X-ray fluorescence spectrometer, cation exchange capacity (CEC). **Geoderma**, v. 239-240, p.130-134; 2015.

SIT, 2011. Acessado em 14 de Março de 2017. Disponível em: <http://sit.mda.gov.br/mapa.php>.

