



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DE UM LATOSSOLO AMARELO  
SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO PIAUIENSE

GLÁUCIA VIANA DOS SANTOS

BOM JESUS – PI 2016

GLÁUCIA VIANA DOS SANTOS

COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DE UM LATOSSOLO AMARELO  
SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO PIAUIENSE

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina  
Elvas, para obtenção do título de “mestre” em  
Agronomia, na área de concentração e Solos e  
Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Márcio Cleto Soares de Moura

BOM JESUS – PI 2016

GLÁUCIA VIANA DOS SANTOS

COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DE UM LATOSSOLO  
AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO PIAUIENSE

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina  
Elvas, para obtenção do título de “mestre” em  
Agronomia, na área de concentração e Solos e  
Nutrição de Plantas.

Aprovada em 26 /FEVEREIRO/2016

Banca Examinadora:

Profº. Dr. Everaldo Moreira da Silva -----(CPCE/UFPI)

Profº. DrSammy Sidney Rocha Matias----- (UESPI)

Profº. Dr. Yuri Jacques Agra bezerra da silva----- (CPCE/UFPI)

---

Prof. Dr Márcio Cleto Soares de Moura

(Orientador)

BOM JESUS – PI 2016

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial de Bom Jesus  
Serviço de Processamento Técnico

S237c Santos, Gláucia Viana dos.

Comportamento eletroquímico de um Latossolo Amarelo  
sob sistemas de manejo no Cerrado piauiense. – 2016.

65 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,  
Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-  
graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI,  
2016.

Orientação: “Prof. Dr. Márcio Cleto Soares de Moura”.

1. Fertilidade do solo. 2. Plantio direto. 3. Plantio  
convencional. 4. Carga líquida. I. Título.

CDD 631.42

*Se Deus disse que eu posso, então eu posso! Irei e não temerei mal algum. (Filipenses 4:13).*

*Aos meus pais e irmãos, pelo amor, carinho, espírito de luta e exemplo de vida. Aos meus amigos que contribuíram de alguma forma para essa conquista, meu amado, pelo amor, paciência, incentivo e dedicação. Ao meu Orientador e mestres amigos meu muito obrigado.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter iluminado o meu caminho, sustentando a minha fé ao longo desta árdua caminhada. A UFPI/CPCE pela a oportunidade de todo suporte, juntamente com a PPGSNP meu muito obrigado. E especial a CAPES pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de estudo que foi fundamental para que conseguisse chegar ao fim do meu mestrado. Ao meu orientador e amigo: Professor Márcio Cleto Soares de Moura, por toda orientação e paciência durante a construção deste trabalho, pela persistência e oportunidades que me proporcionou durante minha pós-graduação, obrigado por acreditar em minha capacidade.

Aos meus pais, Joel Viana dos Santos e Frutuosa Viana, que nunca mediram esforços para educar seus filhos, não tenho palavras para agradecer meu pai, que sempre foi meu porto seguro, minha mãe que sempre me aconselhou e me guiou, aos meus irmãos que sempre foram minha base e sempre estiveram do meu lado. Obrigado pela confiança e paciência, Sidney Viana, Cláudia Márcia Viana, Camila Viana, Adailton Viana e Nilton Cesar Viana, Maria Ducarmo Viana juntamente com seu esposo Moisés Gonçalves da Costa pela confiança e apoio financeiro durante essa longa caminhada. Agradeço meus sobrinhos que amo incondicionalmente, pelo amor e preferência, principalmente minha sobrinha e Afilhada Monick dos Santos Costa.

Ao Walterlín Saraiva pela paciência, dedicação e confiança. Agradeço imensamente pelos abraços de apoio, pelo colo quando precisei, pois sempre estive do meu lado nos momentos mais difíceis, obrigado por me suportar nos momentos de estresse e me amar incondicionalmente e pelo suporte científico e sentimental.

Minha madrinha Elizângela Pereira pela atenção e amor incondicional. E também minha irmãzinha de coração Kellennayra Jacobucci.

Meus amigos Nara Núbia de Lima Cruz e Bueno Abreu pela amizade e pelo apoio técnico e científico, pois é um casal digno de minha admiração. Minhas primas Cesaltina Tavares e Aparecida da Silva, obrigado por todo apoio e conselhos. Ao grupo de jovens firmados em Cristo juntamente com os padres Leandro e Jefferson.

Meus companheiros de laboratório em especial minha amiga Carla Michelly Mota que me auxiliou em todo o meu experimento, não tenho palavras para agradecê-la. Ao Jaime, Mak Ronny Lopes, Eloi Rodrigues e minha querida amiga Josélia Ribeiro pelas palavras de incentivo e ajuda na realização das análises. Meu amigo Roberto Rorras pelo apoio científico e técnico na área de informática.

Aos professores: Júlio Cesar de Azevedo Nobrega, Julian lacerda, Ronny Sobreira, Gerson Lisboa, pelo apoio técnico e científico prestado. As fazendas que disponibilizaram os solos para análises, a fazenda Colorado ao gerente Nerson Pedro Bohn por todo apoio prestado. Ao dono da fazenda 3 irmão, seu Ronaldo Marafon, e seu Cesar Marafon dono da fazenda 2 irmão, agradeço imensamente pelo apoio. Enfim, aos meus amigos e familiares que torcem e rezam por mim.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS .....	iii
CAPITULO I.....	1
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Latossolo do Cerrado piauiense .....	3
2.2 Uso e manejos dos solos do Cerrado piauiense. ....	5
2.3 Propriedades químicas em solos do Cerrado .....	10
2.4 Cargas superficiais do solo .....	11
2.4.1 Carga permanente .....	13
2.4.2 Carga variável .....	13
2.5 Propriedades eletroquímicas dos solos tropicais .....	14
2.5.1 Ponto de carga zero .....	15
2.5.2 Ponto de efeito salino nulo.....	17
3-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
CAPÍTULO II.....	28
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DO CERRADO PIAUIENSE SOB SISTEMAS DE MANEJO.....	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT .....	29
1 – INTRODUÇÃO.....	30

2 – MATERIAL E MÉTODOS .....	32
2.1 Área de estudo .....	32
2.2 Delineamento experimental .....	32
2.3 Análises química.....	35
2.4 Análises estatística.....	35
3–RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4- CONCLUSÃO.....	41
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
CAPITULO III.....	46
ATRIBUTOS ELETROQUÍMICO DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO SUDOESTE PIAUIENSE. ....	46
RESUMO.....	46
ABSTRACT .....	47
1 – INTRODUÇÃO.....	48
2 – MATERIAL E MÉTODOS .....	50
2.1 Caracterização da área de estudo .....	50
2.2 Caracterização eletroquímica das amostras de solo.....	51
3- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
4 – CONCLUSÃO .....	61
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

## RESUMO GERAL

**SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS.** Comportamento eletroquímico de um Latossolo Amarelo sob sistemas de manejo no Cerrado piauiense. 2016. 65 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

A região sudoeste piauiense apresenta alterações significativas, em virtude da expansão agrícola, pois o Sul do Piauí é considerado como a última fronteira agrícola do Brasil, onde se tem investido muito na agricultura mecanizada, fomentando entre outras atividades a produção de larga escala da soja. De fato, o potencial da região para a agricultura mecanizada é elevado e nesse caso, as áreas sob explorações precisam ser monitoradas a fim de que sejam avaliados os impactos causados com a intervenção antrópica nos solos do cerrado piauiense. Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo verificar as alterações químicas e eletroquímicas em Latossolo no cerrado sudoeste piauiense. A pesquisa consistiu em dois estudos o primeiro foi verificar as alterações nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense sob diferentes sistemas de manejo; e avaliar o efeito dos sistemas de manejo e tempos de implantação, sobre o ponto de efeito salino nulo, o ponto de carga zero e a carga líquida de um Latossolo Amarelo no Cerrado piauiense e a correlação do PESN com atributos químicos e eletroquímicos. Os resultados do primeiro estudo indicam que em todas as profundidades, os teores de  $Al^{3+}$  e  $H+Al$  foram menores nos sistemas plantio direto e plantio convencional em relação ao Cerrado nativo. Os sistemas de cultivo plantio convencional de direto apresentaram maiores teores de P disponível e de Ca, Mg, K trocáveis e SB principalmente nas camadas superficiais. A MO apresentou maior teor para o plantio convencional de 15 anos e plantio direto de 10 anos, onde esses valores apresentaram declínio com o aumento da profundidade. De modo geral, os atributos químicos do solo foram afetados em função dos tipos de manejos, sendo essas alterações mais evidentes na camada superficial do solo. As análises realizadas indicam que o manejo interfere na qualidade química do solo. Com isso, sistema de plantio direto é uma alternativa sustentável para a melhoria da qualidade do solo, em áreas do cerrado piauiense.

Para o segundo estudo os resultados demonstra que as cargas elétricas predominantes no Latossolo Amarelo do Cerrado Sudoeste Piauiense são negativas, possivelmente em decorrência da ação do mineral caulinita e da matéria orgânica. O ponto de efeito salino nulo correlacionou-se com o ponto de carga zero positivamente para todos os sistemas de manejo estudados e significativamente para 4 dos 5 sistemas, exceto para o PD10.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fertilidade do solo, plantio direto, plantio convencional, carga líquida, ponto de carga zero, ponto de efeito salino nulo.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## GENERAL ABSTRACT

**SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS.** Electrochemical behavior of a Oxisol under management systems in Piauí Savanna . 2016. 65 p . Dissertation ( Master in Plant and Soil Nutrition) - Federal University of Piauí , PI<sup>1</sup>

The southwestern region of Piauí presents significant changes , due to agricultural expansion , because the South of Piauí is considered as the last agricultural frontier in Brazil , where it has invested heavily in mechanized agriculture , promoting among other things the production of large soybean scale. In fact , the region's potential for mechanized agriculture is high and if so, the areas under holdings need to be monitored so that they are assessed the impacts caused by human intervention in Piauí Savanna soils. Given the above , this study aims to determine the chemical and electrochemical changes in Oxisol in southwestern savanna Piauí . The research consisted of two studies the first was to determine the changes in the chemical attributes of an Oxisol of Piauí Savanna under different management systems; and evaluate the effect of management and deployment times systems , on the point of zero salt effect , the point of zero charge and the net charge of an Oxisol in Piauí Cerrado and the correlation of PESN with chemical and electrochemical attributes. Results from the first study indicate that in all depths , the Al<sup>3+</sup> concentration and H + Al were lower no tillage and Conventional tillage in relation to the native cerrado . cultivation systems (no tillage NT and Conventional tillage CT ) showed higher values of available phosphorus and Ca , Mg, K and exchangeable SB mainly in the surface layers . The MO had higher content for the CT15 and NT10, where these values have declined with increasing depth. In general, the soil chemical properties were affected by the types of managements, and these more obvious changes in the surface layer of soil. The analyzes indicate that the management interferes with the chemistry of the soil quality. The analyzes indicate that the management interferes with the chemistry of the soil quality. With this, no tillage system is a sustainable alternative to improve soil quality, in Piauí Savanna areas. For the second study the results show that the electrical charges prevailing in Oxisoil Cerrado Piauiense southwestern are negative, possibly because of the kaolinite mineral and organic matter action. The PESN correlated with PCZ positively to all management systems studied and significantly for 4 of the 5 systems, except for the NT10.

**KEYWORDS:** Soil fertility , no-tillage , conventional tillage , point of zero charge, point of null saline effect, management systems.

---

<sup>1</sup>Advisor: Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

SPD – Sistema de Plantio Direto

$Al^{3+}$  - Alumínio

ASE - Área de Superfície Específica

C – Carbono

$Ca^{2+}$  - Cálcio

CN – Cerrado Nativo

CO – Carbono Orgânico

COT – Carbono Orgânico Total

CTA – Capacidade de Troca Aniônica

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

CV – Coeficiente de Variação

DCE – Dupla Camada Elétrica

Fe – Ferro

$H^+$  - Hidrogênio

$K^+$  - Potássio

$Mg^{2+}$  - Magnésio

MO - Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

$OH^-$  - Hidroxila

P – Fósforo

PC – Plantio Convencional

PCZ – Ponto de Carga Zero

PD - Plantio Direto

PESN – Ponto de Efeito Salino Nulo

pH – Potencial Hidrogeniônico

SB – Soma de Bases

T - Capacidade de Troca Catiônica Potencial

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

V – Saturação por base



## CAPITULO I

### 1.INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da população mundial tem exigido mais alimentos, fibras, forragem e produção, e para suprir esta demanda é preciso que muitas áreas de vegetação nativa sejam convertidas ao cultivo intensivo. A expansão da área agrícola no Brasil é hoje uma necessidade e também um fato. Dessa forma, novas áreas têm sido incorporadas ao sistema de produção agrícola com o objetivo de satisfazer às necessidades de uma população crescente. Assim, a substituição de matas naturais por culturas anuais e/ou perenes tem se tornado fato cada vez mais comum.

A região sudoeste piauiense apresenta alterações significativas, em virtude da expansão agrícola, pois o Sul do Piauí vem se destacando na economia nacional com o seu potencial agrícola, onde se tem investido muito na agricultura mecanizada, fomentando entre outras atividades a produção de larga escala da soja. De fato, o potencial da região para a agricultura mecanizada é elevado e nesse caso, as áreas sob explorações precisam ser monitoradas a fim de que sejam avaliados os impactos causados com a intervenção antrópica nos solos do cerrado piauiense.

O uso intensivo de solos da região de Cerrado para a produção agrícola, aliado ao manejo inadequado do solo, tem causado a sua degradação com consequente diminuição da produtividade das culturas. Assim, há a necessidade da utilização de sistemas com bases conservacionistas, como é o caso do sistema plantio direto (SPD), e da rotação de culturas. O sucesso desses sistemas produtivos nessas regiões deve-se ao fato de que a palhada, acumulada pelas plantas de cobertura e dos restos culturais de lavouras comerciais, proporciona um ambiente favorável à recuperação ou manutenção dos atributos físicos e químicos do solo (FLORES et al., 2007; SANTOS et al., 2008; CHIODEROLI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2013 e COSTA et al., 2015).

Luchiezi Junior et al. (2008), enfatizam que a expansão agrícola no cerrado piauiense levou a devastação de matas ciliares, destruições de encostas e as margens de rodovias. Com consequência grandes voçorocas se formaram e terras arenosas, pouco adequadas à agricultura, foram abertas e abandonadas, favorecendo a erosão dos solos do cerrado. O relevo plano, em quase toda a sua extensão, facilita o avanço das máquinas agrícolas que rapidamente desmatam grandes áreas verdes. Os efeitos diretos

do desmatamento, do uso intenso de agrotóxicos e dos constantes revolvimentos de terra são significativos. Apesar do uso cada vez mais frequente do plantio direto nos solos do cerrado piauiense, estima-se que as perdas por erosão ainda são expressivas.

Com isso os atributos do solo tornam-se indicadores de qualidade na medida em que passam a ser utilizados para monitorar mudanças do solo no decorrer do tempo. E o conhecimento das cargas elétricas geradas na superfície das partículas dos colóides dos solos, são de suma importância para que possamos compreender as reações eletroquímicas que influenciam diretamente na fertilidade e nutrição de plantas no qual estão ligadas diretamente com seu manejo e conservação do solo.

Estudos no Cerrado vêm sendo conduzidos, com o objetivo de desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, no sentido de reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre esse ambiente, onde as altas temperaturas e o manejo de solo mais adotado (plantio convencional e uso em monocultivo) podem levar a um declínio acelerado do solo. Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo verificar as alterações químicas e eletroquímicas em sistemas de manejos em um Latossolo Amarelo no cerrado sudoeste piauiense.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Latossolo do Cerrado piauiense**

No Brasil, o bioma Cerrado ocupa uma área de 2 milhões de km<sup>2</sup>. Seus solos são distróficos, de baixa fertilidade, elevada acidez, com relevo predominantemente plano favorável à mecanização (ADÁMOLI et al., 1986). O cerrado piauiense ocupa uma área de quase 12 milhões de hectares, o que corresponde a 46% da área do Estado, 5,9% do cerrado brasileiro e 36,9% do cerrado nordestino. Do total, 70% correspondem à área de domínio e os 30% restantes compreendem a vegetação de transição com o bioma Caatinga (AGUIAR & MONTEIRO, 2005).

No Piauí, a área do Cerrado está localizada na Mesorregião do Sudeste e por estar localizada nos trópicos úmidos, apresenta solos altamente intemperizados, como os Latossolos, que são a classe de solos mais abrangente no Brasil, característicos de regiões de climas tropicais. Essa ordem de solos geralmente apresenta características químicas pouco favorável à agricultura (SCHAEFER et al., 2008).

Além disso, devido a maior proximidade com o bioma Caatinga, o Cerrado piauiense apresenta condições climáticas diferenciadas das demais regiões de Cerrado no país, associada a solos com textura mais arenosa, necessitando, portanto, de mais trabalhos que venha nos trazer propostas no sentido de mitigar os efeitos dos sistemas de manejo sobre os solos da região.

Devido aos intensos processos sofridos durante a formação, e por influência da mineralogia resultante, os solos altamente intemperizados possuem propriedades físicas agronomicamente favoráveis, como profundidade, porosidade, permeabilidade e estrutura estável. No entanto, apresentam também limitações químicas para a maioria das culturas, como elevada acidez, elevada capacidade de adsorção aniônica, baixa reserva de nutrientes, baixa capacidade de troca de catiônica e ponto de carga zero (PCZ) alto. Estes atributos estão direta ou indiretamente relacionados ao desenvolvimento e ao balanço de cargas elétricas na superfície das partículas que compõem seu sistema coloidal.

Os Latossolos ocupam uma superfície de cerca de 331.637.200 ha, correspondendo a aproximadamente 39% do território brasileiro, segundo Espig et al. (2005). Esta classe de solos são predominantes nas paisagens de chapadas com relevo plano a suave ondulado na região dos Cerrados.

As principais características morfológicas dos Latossolos são distinguidas como pouca diferenciação de sub-horizonte, com sequência de horizontes A, B, C e transições usualmente difusas ou graduais. As cores variam desde amarelas ou mesmo bruno - acinzentadas até vermelho escuro- acinzentadas, nos matizes 2,5YR a 10YR. Variam de fortemente a bem drenados. Quimicamente são, em geral, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos, álicos ou alumínicos (EMBRAPA, 2006). A fração argila dos Latossolos, por apresentar avançado grau de intemperização, é dominada por argilominerais do tipo 1:1, predominantemente caulinita (WEBER et al., 2005). Sendo o principal mineral em teor expressivo. Goethita e hematita são os principais óxidos de Fe e a gibbsita é praticamente o único óxido de Al presente nesses solos, enquanto quartzo e outros minerais apresentam-se em menor proporção (KÄMPF E CURI, 2003).

Os Latossolos que predominam nos Cerrados piauienses apresentam características semelhantes àqueles encontrados por todo Brasil. Segundo Jacomine et al. (1986), os solos que predominam nas áreas planas, entre as quais se encontram as Superfícies Tabulares Cimeiras (chapadas altas) são os Latossolos Amarelos distróficos. Pragana (2011) em seu estudo, caracterização pedológico e diagnóstico da qualidade de solos sob plantio direto na serra do quilombo, sudoeste Piauiense. Afirma que ao longo dos quatro perfis de Latossolos Amarelos analisados encontrou-se um aumento de argila, passando da classe textural franco-argila-arenosa nos horizontes A e AB, para argilo-arenosa nos horizontes BA, Bw1 e Bw2.

Pode-se observar que no processo de formação dos Latossolos (Latolissação) a liberação de ferro, alumínio, sílica e íons diversos como cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), entre outros, consequência do intemperismo de minerais primários e mesmo silicatos secundários. Mas vale ressaltar que os últimos, pela maior solubilidade tendem a ser lixiviados do sistema. A sílica, menos solúvel que eles, porém mais que o ferro e alumínio também tende a sair a depender da drenagem do meio (KER, 1998). Os hidróxidos são oxidados e desidratados na estação seca, transformando-se em compostos estáveis que facilitam a precipitação do ferro. Na estação chuvosa o escoamento superficial favorece o transporte do material desagregado ou resultante da decomposição química. O fluxo de subsuperfície facilita a lixiviação, o transporte e a concentração de materiais solúveis, conforme descrito por Casseti et al. (2004) para formação dos Latossolos da região central do Brasil.

A alta acidez natural dos solos brasileiros, associada à baixa disponibilidade de nutrientes, tem sido fator limitante à produção agrícola. Elevadas concentrações de  $Al^{3+}$

na solução inibem o crescimento radicular (MUZILLI et al., 1989), diminuindo a absorção de água e nutrientes (CAIRES et al., 2006). Portanto, torna-se importante o desenvolvimento de estratégias de correção e manejo do solo visando o uso sustentável deste recurso natural.

## **2.2 Uso e manejos dos solos do Cerrado piauiense.**

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente através do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation), o continente Sul Americano tem 244 milhões de hectares de solo degradado, sendo o desmatamento responsável por grande parte dessa degradação (TAVARES et al., 2008). No Brasil todas as estimativas apontam para o desmatamento, as atividades agrícolas e a mineração como as principais responsáveis pela degradação dos solos (TAVARES et al., 2008).

A qualidade do solo é caracterizada pela capacidade de exercer suas funções, seja ela em condições naturais ou submetidas aos sistemas de manejo de cultivo (FRIEDMAN et al., 2001). Diversos trabalhos sobre qualidade do solo procedem à comparação entre campo nativo e sistema de manejo (SIX et al., 1999; WENDLING et al., 2005; RABARY et al., 2008; ASAMI 2010). Subtende-se que em ambientes naturais os solos apresentam condições ideais para avaliar sua qualidade, servindo como parâmetro para relacionar as modificações nos sistemas de manejo. Em solos sob sistemas de cultivos, a qualidade do solo é avaliada pelas modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos influenciados pelo sistema de cultivo acondicionado à melhoria da produção agrícola (FRIEDMAN et al., 2001).

A produção agrícola no cerrado piauiense iniciou-se na década de 1980 com o plantio de soja e desde então vem apresentando um crescimento acelerado. No ano de 2000, a produção cresceu em média 35,2% ao ano e na safra 2007/2008, a taxa média de crescimento elevou-se para 59,6% ao ano (DANTAS e MONTEIRO, 2010). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 1994 haviam 6,8 mil hectares plantados no cerrado piauiense, passando para 40 mil no ano 2000, 197,1 mil em 2005 e saltando para 383,6 mil hectares plantados em 2011 (CONAB, 2012).

O Cerrado é uma região muito peculiar, além de abrigar grande diversidade de espécies, é o berço de importantes bacias hidrográficas, motivo pelo qual a sua rápida devastação se torna preocupante e com impactos potenciais irreversíveis (LUCHIEZI JUNIOR et al., 2008).

Nas últimas três décadas tem-se observado expressivo aumento das atividades agrícolas em áreas do cerrado, com intensa substituição da vegetação nativa por áreas cultivadas, especialmente para produção de alimentos, fibra e energia (FERREIRA et al., 2007). Dos mais de 350 milhões de hectares utilizados para a agricultura no Brasil, 50% são pastagens. Porém há áreas extensas, usada há décadas para culturas anuais como milho (*Zea mays L.*) com 9,0 milhões de hectares sendo 405.631 hectares no Piauí e soja (*Glycine max L.*) com 22,9 milhões de hectares onde 626.799 hectares são cultivados no cerrado piauiense (IBGE, 2014).

As áreas que apresentam o cultivo de culturas com bastante expressão econômica tais como, soja e milho utilizam sistemas de produção caracterizados pelo uso intensivo do solo, pela aplicação constante de corretivos, fertilizantes, pesticidas, além do revolvimento frequente, por meio de práticas de aração e gradagem (PRAGANA, 2011). A predominância do monocultivo, associado a práticas agrícolas inadequadas, com excesso de mobilização do solo, tem comprometido o crescimento da produtividade e resulta na degradação do solo e do ambiente (CAMPOS et al., 2011).

A transformação desses ambientes naturais em sistemas agrícolas tem provocado a degradação do solo devido sua exploração inadequada (FONSECA et al., 2007). A utilização do solo de forma inadequada, sobretudo por meio da adoção de sistemas convencionais, tem ocasionado a degradação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (SÁ et al., 2009) como, por exemplo, a desestruturação e compactação, a redução da fertilidade, a oxidação acelerada da matéria orgânica e a diminuição da quantidade e diversidade de organismos do solo (LEITE et al., 2010).

Segundo Canellas et al. (2003), em áreas sob sistema de manejo convencional do solo, a movimentação e o preparo do solo para o cultivo (aração, gradagem e abertura de sulcos) favorecem as reações de oxidação, por meio do aumento da pressão parcial de oxidação e da exposição de novas superfícies para o ataque microbiano. O balanço líquido desse efeito é a diminuição dos teores de matéria orgânica nos sistemas com preparo do solo mais intensivo.

O uso intensivo do solo por meio do plantio convencional (PC), caracterizado pelo revolvimento contínuo, gerou ao longo dos anos degradação e empobrecimento do solo. Como consequência, resultou em diminuição da produtividade agrícola, erosão, compactação do solo e baixa infiltração da água das chuvas. Com isso, Para mitigar esses problemas, o sistema de plantio direto (SPD) surgiu no Estado do Paraná no início dos anos 1970. Inicialmente, esse sistema foi adotado pelo produtor Herbert Bartz, no

município de Rolândia e, no ano de 1976, os agricultores Manoel Henrique Pereira e Frank Dijkstra iniciaram a conversão das suas terras para o SPD, na região dos Campos Gerais (FEBRAPDP, 2014).

Neste sentido, a adoção de sistemas de manejo do solo considerados conservacionistas, como o sistema de plantio direto, tem sido utilizado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo, principalmente nos Latossolos (BAYER et al., 2004), considerados ácidos, com baixa fertilidade natural e potencial de produção condicionado ao uso de corretivos e fertilizantes (AZEVEDO et al., 2007); portanto, para a exploração racional do cerrado piauiense, é essencial corrigir a acidez do solo utilizando-se calagem que, conjuntamente com as práticas de manejo do SPD, gera uma expectativa de acúmulo de resíduos vegetais e nutrientes, além de diminuição de processos, como erosão e compactação do solo.

Os sistemas de manejo conservacionistas do solo, como no caso do sistema semeadura direta, é caracterizada como a camada superficial do solo mobilizada apenas pelos discos ou hastes sulcadoras utilizadas durante a semeadura e fortemente influenciada pela atividade biológica dos diferentes sistemas radiculares das espécies utilizadas na rotação de culturas (GUEDES FILHO et al., 2013). O sistema semeadura direta é um dos mais importantes sistemas conservacionistas de manejo do solo, sendo cultivado em uma área de aproximadamente 117 milhões de hectares no mundo, dos quais cerca de 32 milhões de hectares estão no Brasil, esse sistema de manejo aumentou quase 10 vezes nos últimos 10 anos, correspondendo a 40% da área plantada anual (FEBRAPDP, 2014). Todavia, a ausência de revolvimento e principalmente o intenso tráfego de máquinas são considerados os principais responsáveis pela compactação superficial do solo sob semeadura direta (REICHERT et al., 2009).

No sistema de plantio direto, a agregação do solo é preservada ao longo dos anos, devido à contínua manutenção de resíduos vegetais na superfície (SIX et al., 2002). Com isso a cobertura do solo reduz o impacto das gotas de chuva sobre o solo e diminui a velocidade de escoamento, favorecendo a infiltração e a manutenção da estrutura do solo (LAL, 2005). Alterações nos atributos do solo decorrentes das reações dos insumos agrícolas no SPD resultam em mudanças na dinâmica dos nutrientes (BOER et al., 2007), sendo que algumas ainda não são bem compreendidas pela ciência. Daí a importância de se estudar as alterações nos tributos químicos e eletroquímicos nos sistemas de manejos e sua relação com a qualidade do solo, nutrição e rendimento de culturas.

Pragana et al. (2012) avaliando os Atributos Biológicos e Dinâmica da Matéria Orgânica em Latossolos Amarelos na Região do Cerrado Piauiense Sob Sistema Plantio Direto, concluíram que a substituição do Cerrado nativo por culturas anuais sob o sistema plantio direto reduz os teores de carbono da biomassa microbiana e de nitrogênio total e eleva a respiração basal nos tratamentos com três e quatro anos de implantação do plantio direto, indicando que esse tempo é insuficiente para melhoria desses atributos. Afirmam ainda que o aumento do tempo de uso do solo com plantio direto diminui o teor de C particulado e mantém o de C associado aos minerais, em comparação ao solo do Cerrado nativo.

Leite et al. (2010) avaliaram os Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. Os autores concluíram que a adoção do sistema plantio direto aumentou o pH, os teores de P e de bases trocáveis do solo, em comparação com o PC. Em relação ao PC, os estoques de carbono orgânico total (COT) e carbono da biomassa microbiana ( $C_{mic}$ ) aumentaram 34 e 99% no PD2, 47 e 92% no PD4 e 61 e 108% no PD6, respectivamente, na camada superficial de 0-20 cm. Concluído que a implantação do sistema plantio direto melhora os atributos químicos e aumenta os estoques de carbono orgânico total e microbiano do solo e seu uso contínuo contribui para a qualidade do solo em áreas do cerrado piauiense.

Avaliando os Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Campos et al. (2011) constataram que o sistema PD9 apresentou maiores valores de pH e menores de  $Al^{3+}$ ,  $H + Al$  e saturação por alumínio (m%). Observaram maiores valores de  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t) e potencial (T), e saturação por bases (V) e P sob PD5 e PD9, até 0,20 m. E que os maiores valores de COT foram verificados sob PD5 e PD9, exceto na camada de 0,00–0,05 m. Já Matias et al. (2009) analisando as propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que em todas as profundidades, o teor de  $Al^{3+}$  foi menor nos sistemas PD e PC em relação à ARD e CN. PD e PC também apresentaram maiores teores de P disponível e de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis, nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm. Não houve diferença entre o PD e PC, com exceção da camada 10-20 cm, para V, SB e MO. Os autores concluíram que a substituição da vegetação nativa pelos sistemas plantio direto e convencional promoveu alterações nas propriedades químicas do solo. E que o período de três anos não foi suficiente para o sistema PD promover aumento da fertilidade de um Latossolo Amarelo em relação ao PC, em áreas do cerrado piauiense.

Albuquerque et al. (2005) também verificaram efeito positivo com a implantação do PD. Estes autores avaliando o efeito do preparo do solo e das formas de aplicação de calcário em experimento de longa duração, nas características de um Latossolo Bruno Alumínico, textura argilosa, e nos componentes do rendimento da cultura da soja, concluíram que o sistema PD apresentou mais CO e P do que o preparo convencional.

Souza & Alves (2003) verificaram que os sistemas PD e cultivo mínimo levaram ao acúmulo significativo de matéria orgânica e conseqüentemente aumento dos valores de pH, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CTC e redução do Al<sup>3+</sup> trocável. O acúmulo de nutrientes na camada superficial, devido à contínua aplicação de fertilizantes, numa pequena profundidade, e à deposição de resíduos das culturas na superfície, tem sido apontados como os principais responsáveis pela melhoria das condições químicas do solo em áreas sob sistema PD.

Ciotta et al. (2003) avaliando a utilização durante 21 anos do sistema PD em um Latossolo, concluíram que este sistema promoveu acúmulo de carbono orgânico (CO) na camada superficial do solo (0-6 cm), o que refletiu-se num aumento de 2,63 t ha<sup>-1</sup> no estoque de CO, na camada de 0-20 cm, em comparação ao preparo convencional. Segundo os referidos autores, o acúmulo de CO no solo sob PD teve reflexo positivo na CTC do solo, com um aumento médio, na camada de 0-8 cm, de 15,2 mmolc kg<sup>-1</sup> na CTC efetiva, e de 20,7 mmolc kg<sup>-1</sup> na CTC a pH 7,0, em comparação ao solo com preparo convencional.

No entanto, Rosa et al. (2003), avaliando aspectos químicos de um Latossolo Vermelho Eutroférrico, sob as condições de PD, irrigado e em sequeiro, e sob floresta nativa, na região de Santa Helena de Goiás (GO), concluíram que o PD não foi capaz de manter os níveis de carbono nos agregados, quando comparado ao solo sob floresta nativa. Tal fato demonstra que, apesar do incremento do material orgânico no PD (14 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca, para o PD irrigado, e 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para o PD de sequeiro), os teores de carbono orgânico total (COT) não atingiram os níveis do sistema natural. A análise química desse solo apontou teores de nutrientes muito maiores no solo sob floresta nativa do que no PD que, mesmo recebendo adubações constantes, não foi capaz de manter níveis tão elevados quanto na floresta.

Com isso apesar de a matéria orgânica do solo aumentar sob o sistema PD e apresentar elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que este aumento também depende de outros fatores, tais como: clima, principalmente temperatura e precipitação, textura e mineralogia do solo (Alvarez & Lavado, 1998).

## 2.3 Propriedades químicas em solos do Cerrado

Os solos das regiões tropicais e subtropicais apresentam, em suas condições naturais, altos teores de alumínio (Al) trocável e baixas concentrações trocáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K). Esses solos também podem apresentar, em subsuperfície, concentrações fitotóxicas de Al e deficiência de Ca, resultando em menor crescimento radicular e queda no rendimento das culturas (RAIJ, 1988).

A alta acidez natural dos solos brasileiros, associada à baixa disponibilidade de nutrientes, tem sido fator limitante à produção agrícola. Elevadas concentrações de  $Al^{3+}$  na solução inibem o crescimento radicular, diminuindo a absorção de água e nutrientes (CAIRES et al., 2006). Portanto, torna-se importante o desenvolvimento de estratégias de correção e manejo do solo visando o uso sustentável deste recurso natural.

O principal insumo utilizado para a correção da acidez dos solos é o calcário. Esse insumo ocasiona aumento no pH, precipitação do  $Al^{3+}$  na forma de hidróxido, aumento da saturação por bases (V%) e na capacidade de troca catiônica (CTC). Devido à sua baixa solubilidade em água, o calcário necessita de adequado contato com as partículas do solo para melhor reatividade (RAIJ, 1991).

A capacidade de troca catiônica (CTC) tem como uma das principais características dos solos e podemos citar a existência de cargas no mesmo podendo ser negativas ou positivas em algumas de suas partículas. Este fato acontece nas partículas com propriedades coloidais, ou seja, nos colóides que são os óxidos de Fe e Al e minerais alumino-silicatados do tamanho argila, ou seja, com menos de (0,002mm), e também a matéria orgânica humificada.

Tais cargas podem atrair moléculas ( $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) e íons, assim as cargas existentes no solo podem ser positivas ou negativas, em quase todos os solos há larga predominância das cargas negativas, principalmente no horizonte A, devido a presença da matéria orgânica.

A importância desse fenômeno para a nutrição das plantas está ligado ao fato dele ser reversível, isto é, íons absorvidos podem ser trocados por outros íons em quantidades eletroquimicamente equivalentes preservando assim o equilíbrio eletroquímico.

O total das cargas negativas do solo é denominada de CTC e pode ser determinado pela soma de todos os cátions absorvidos, na interpretação da análise

química do solo, o mais importante são as cargas negativas dos colóides pelo fato de adsorver cátions.

Os principais fatores que influenciam na CTC do solo são a Área de Superfície Específica (ASE) que é muito pequena na caulinita, e muito grande na matéria orgânica; O pH da solução que altera diretamente a quantidade de cargas negativas e positivas; A adsorção específica de íons como do fosfato; Também age diretamente na CTC do solo a matéria orgânica, uma vez que, interage com os argilominerais e óxidos alterando as cargas superficiais reduzindo as positivas e aumentando as negativas.

Diante do exposto é importante também confrontar as diferenças de solos tropicais e solos temperados quanto à CTC, é uma das mais importantes características dos solos e representa a quantidade de cátions que o solo pode manter retido na forma de complexos de esfera externa.

Nos solos tropicais há uma predominância das cargas negativas devido principalmente à presença da matéria orgânica que possui uma grande área de superfície específica (ASE), sabendo-se que o argilomineral 1:1 mais presente é a caulinita que contribui pouco para a CTC assim como os óxidos de Al e Fe, em solos de regiões mais quentes a matéria orgânica decompõem rapidamente baixando a CTC, mas em solos de regiões frias a matéria orgânica se mantém por mais tempo no solo, pois a baixa temperatura inibe a ação dos microorganismos decompositores aumentando em grande grau a CTC do solo.

Porém em alguns solos onde há considerável concentração de óxidos haverá a predominância de cargas positivas no solo contribuindo para a CTA (Capacidade de Troca Aniônica) que não apresenta nenhum valor em termos de fertilidade para os solos, e pode ser reduzida tanto pela matéria orgânica quanto pela ação antrópica de acrescentar fosfato ao solo. Uma vez que se sabe que os íons das faces das partículas da fase sólida estão em equilíbrio com os presentes na solução do solo. Já nos solos temperados onde predomina-se os minerais 2:1 existe uma alta CTC.

## **2.4 Cargas superficiais do solo**

O estudo da distribuição das cargas elétricas é de fundamental importância para o entendimento de diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos. A maioria das reações eletroquímicas que influenciam a fertilidade dos solos e, conseqüentemente, a nutrição de plantas, ocorre na superfície dos constituintes da

fração orgânica e mineral. Nesse contexto, as propriedades eletroquímicas das fases sólidas revestem-se de extrema importância porque influenciam diretamente o comportamento dos elementos no solo, especialmente a composição da solução do solo e a biodisponibilidade desses elementos.

Embora a eletroquímica dos solos com cargas variáveis tenha apresentado considerável desenvolvimento após o trabalho seminal de Raij & Peech (1972), é ainda imprescindível o aprimoramento dos estudos que visam associar o comportamento e eletroquímico dos solos à sua mineralogia (FONTES et al., 2001).

Do ponto de vista eletroquímico, os solos tropicais e subtropicais apresentam cargas elétricas variáveis. Portanto, alterações no pH, concentração eletrolítica e reações de adsorção específica na superfície dos colóides governam a geração de cargas elétricas desses solos (BOLAN et al., 1999). A maioria dessas propriedades está relacionada direta ou indiretamente ao balanço de cargas elétricas na superfície das partículas coloidais (FONTES et al., 2001).

Nos solos altamente intemperizados, com predomínio de óxidos de ferro e alumínio (BRADY 1989), os efeitos da floculação e dispersão são mais expressivos nas propriedades físico-química dos minerais de argila 1:1 (ALBUQUERQUE et al., 2003). Essas modificações são observadas na dupla camada difusa, onde as cargas elétricas presentes na superfície coloidal apresentam maiores variações decorrentes de alterações químicas do solo (SPARKS 1999).

As cargas na superfície das partículas dos solos são pertinentes aos fenômenos de superfície, como a dispersão/floculação, (SUMMER 1992; CHOROM 1995) capacidade de troca de cátions e de ânions, (GILMAM 1985) adsorção de pesticidas (CLAUSEN 2001) e de metais pesados (APEEL 2002). As cargas do solo podem ser do tipo permanente, quando originadas de substituição isomórfica na formação dos minerais, principalmente da fração argila, ou dependentes do pH do meio, são as chamadas cargas variáveis (TAN 1993; SPARKS 2003) sendo essas últimas comuns em solos tropicais altamente intemperizados ricos em óxidos de ferro e de alumínio (FONTES et al., 2001). As cargas variáveis representam mais de 70% da carga total em amostras da superfície de Latossolos (WEBER et al., 2005; RIBEIRO et al., 2011), apresentando esses solos propriedades químicas determinadas basicamente pelas cargas elétricas dependentes do pH, sendo denominados didaticamente de solos de carga variável.

### 2.4.1 Carga permanente

As cargas permanentes são produto das substituições iônicas isomórficas nas estruturas minerais e sempre se manifestam em qualquer pH dos solos. Esta carga é inerente ao mineral e pode também ser chamada de carga estrutural. As substituições iônicas isomórficas, simplificada e chamadas de substituições isomórficas, ocorrem nos minerais primários, na sua diferenciação magmática, e nos secundários na sua formação no solo ou pela herança de minerais primários. Mas elas produzem carga significativa apenas nos minerais argilosos silicatados do tipo 2:1, esmectitas e vermiculitas e em alguns poucos minerais primários, tipo mica, quando esses atingem tamanho pequeno o suficiente para compor a fração argila dos solos.

Smith & Emerson (1976) afirmam que a caulinita (argila do tipo 1:1) também possui carga negativa permanente, em adição à carga variável, mas que ela é pequena e de pouca expressão. Teoricamente, a carga permanente pode ser negativa ou positiva, contudo, em função de tamanhos iônicos, a substituição se faz, normalmente, por um elemento de menor valência substituindo o de maior valência ( $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ ), o que leva a déficit de carga positiva na estrutura cristalina e a manifestação de carga negativa na superfície do colóide (GAST, 1977). Tessens & Zauyah (1982) postulam a existência de carga permanente positiva em solos altamente intemperizados e relacionam essas cargas à substituição de  $\text{Fe}^{3+}$  por  $\text{Ti}^{4+}$  na estrutura dos óxidos de Fe.

### 2.4.2 Carga variável

As cargas elétricas variáveis, características dos solos tropicais e subtropicais, são influenciadas por mudanças nos valores de pH, concentração eletrolítica da solução e reações de adsorção específica nos grupos funcionais (BOLAN et al., 1999). Alteração nesses atributos reflete no balanço de cargas elétricas na superfície das partículas coloidais (FONTES et al., 2001).

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. Como os principais íons determinantes de potencial na

solução do solo são  $H^+$  e  $OH^-$ , esses colóides são também chamados de colóides de carga dependente do pH. Se se levar em consideração que outros íons podem atuar como determinantes de potencial o termo mais genérico colóides de carga variável deve ser preferido (UEHARA & GILLMAN, 1981). Caulinita, goethita, hematita e gibbsita são os principais minerais do solo que apresentam essa característica e são as predominantes na maioria dos solos brasileiro. As cargas variáveis ocorrem tanto nos colóides orgânicos quanto nos colóides inorgânicos (minerais) e podem ser negativas ou positivas.

Na matéria orgânica, a carga variável é negativa e tem sua origem na dissociação de hidroxilas de grupamentos carboxílicos, fenólicos, enólicos etc. Ela desenvolve-se a valores de pH bem mais baixos do que nos óxidos, sendo menos provável a ocorrência de cargas positivas nestes materiais, nas condições de pH do solo.

## **2.5 Propriedades eletroquímicas dos solos tropicais**

O entendimento das cargas elétricas geradas na superfície das partículas coloidais do solo elucida grande parte das reações eletroquímicas que influenciam a fertilidade e a nutrição de plantas e que podem interferir em fenômenos relacionados ao seu manejo e conservação (FONTES et al., 2001)

Nas regiões tropicais, devido as condições de intensa intemperização, os principais constituintes inorgânicos da fração coloidal do solo são as argilas com lâmina 1:1, especialmente a caulinita, e os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, que apresentam cargas elétricas variáveis com o pH e com a força iônica do meio (CASAGRANDE et al., 2003).

A adsorção de íons na superfície das partículas sólidas dos solos ocorre devido a existência de cargas elétricas de superfície, que podem ser negativas; estas podem se desenvolver principalmente através de: substituição isomórfica, entre minerais do solo e íons de diferentes valências, ou a partir de reações entre grupos funcionais de superfície e os íons da solução do solo (SPOSITO, 2008).

Os Latossolos das regiões tropicais, cuja carga elétrica líquida do solo é, na sua maioria, dependente de pH, apresentam geralmente, agregados muito estáveis, com baixas proporções de argila dispersas em água, pois á medida em que os solos tornam-se mais intemperizados, ocorre uma diminuição na densidade de cargas negativas das argilas e os cátions bivalentes são substituídos por  $Al^{3+}$  no complexo de troca,

diminuindo a espessura da dupla camada, aproximando o potencial de zero e facilitando a floculação (ALLEONI et al., 2009). Por outro lado, os cátions monovalentes, tais como  $K^+$  e  $Na^+$ , apresentam alto grau de hidratação e formam complexos de esfera-externa, distanciando as partículas e dispersando o sistema (MEURER et al., 2012).

Os minerais como a hematita ( $Fe_2O_3$ ), goethita ( $FeOOH$ ) e a gibbsita ( $Al(OH)_3$ ), muito comuns nos solos altamente intemperizados, apresentam superfície hidroxilada e podem gerar cargas positivas ou negativas de acordo com o pH. Normalmente, nas condições de pH dos solos agrícolas das zonas tropicais e subtropicais, pode haver predominância de cargas positivas e à medida que o pH se eleva passam a predominar cargas negativas nas superfícies das partículas (MEURER et al., 2012). No entanto, para conhecer a zona de pH onde ocorre esta mudança é necessário conhecer o seu ponto de carga zero (PCZ).

### **2.5.1 Ponto de carga zero**

Em solos com cargas variáveis, como os altamente intemperizados, o PCZ, tem papel decisivo na formação dos agregados dos solos e na retenção dos íons adsorvidos, sendo o atributo mais importante para a descrição dos fenômenos decorrentes da Dupla Camada Elétrica (DCE) e de interfaces reversíveis (ALLEONI et al., 2009).

O ponto de carga zero (PCZ) corresponde ao valor de pH do solo no qual o balanço entre as cargas negativas e positivas é nulo (GARCIA et al., 2003). Com isto a comparação entre o pH do solo e o PCZ permite definir se a carga superficial líquida das partículas é negativa ( $pH < PCZ$ ), positiva ( $pH > PCZ$ ) ou nula ( $pH = PCZ$ ) (APPEL et al., 2003).

O PCZ é um importante parâmetro para a descrição dos fenômenos eletroquímicos de solos com cargas variáveis, o balanço de cargas eletroquímicas interfere diretamente no comportamento das partículas coloidais do solo, afetando propriedades como floculação, dispersão, troca catiônica e disponibilidade de nutrientes, dentre outras (GARCIA et al., 2003; FONTES E ALLEONI, 2006;). Em valores de pH próximos ao PCZ, os colóides do solo apresentam baixo valor em módulo do potencial elétrico superficial, as forças de repulsão eletrostática são minimizadas, favorecendo a floculação (GILLMAN, 1974).

E tendo como fator culminante no estudo de cargas no solo podemos destacar o ponto de carga zero (PCZ), pois o mesmo se mostra como sendo uma das mais

importantes características do solo para a circunscrevermos fenômenos decorrentes da dupla camada elétrica de interfaces reversíveis do mesmo modo, é usado para a deliberação de vários atributos pedológicos, tais como desenvolvimento pedogenético topossequência ou cronossequência.

A carga elétrica e o PCZ são dependentes da proporção dos constituintes minerais e orgânicos do solo, sendo influenciados pelo manejo químico empregado nesses solos. O PCZ de um solo pode ser alterado por meio da adsorção de ânions devido a neutralização de cargas positivas ou pela reversão de carga do coloide pelas cargas negativas dos ânions (CHAVES, 1999). Os óxidos de ferro e de alumínio contribuem para o aumento das cargas positivas e do PCZ, enquanto a matéria orgânica e argilominerais silicatados, como a caulinita, aumentam as cargas negativas e reduzem o PCZ (ANDA, et al., 2008). Além disso, a introdução de cátions, ânions e moléculas no meio podem afetar reações de protonação/desprotonação, influenciando as cargas superficiais e o PCZ dos colóides do solo (MARCHI et al., 2008).

As superfícies poderão estar protonadas em condições de pH abaixo de PCZ, gerando cargas positivas ou deprotonada, com o pH do solo acima do PCZ, produzindo cargas negativas (ALLEONI et al., 2009). O PCZ, valor de pH do solo, onde existe um equilíbrio entre as cargas positivas e negativas, corresponde a um valor de pH no qual a carga líquida resultante de todas as fontes da superfície de um colóide reduz-se a zero.

Em solos de regiões tropicais úmidas, com baixos teores de matéria orgânica e em estágio de intemperismo avançado, a presença de cargas positivas será muito maior do que em solos de regiões temperadas (ALCÂNTARA e CAMARGO, 2005). Cada solo possui seu respectivo PCZ, porque será a composição do solo que determinará sua carga elétrica líquida (MEURER et al., 2012).

Pela a ação intemperismo químico nas regiões dos trópicos úmidos verifica-se intensa remoção e lixiviação de cátions de reação básica, com resultante acúmulo de  $Al^{3+}$  trocável nos sítios de carga negativa. Mas á medida que  $Al^{3+}$  é hidrolisado, ocorre disponibilização de  $H^+$ , que causa acidificação do meio e, neste caso, o PCZ pode superar o pH do solo ( $pH < 3,5$ ), conferindo-lhe carga positiva, com isto, a CTA irá superar a CTC (ALLEONI et al., 2009).

O acúmulo de carga negativa no solo favorece a CTC, que corresponde á soma das cargas negativas geradas na superfície das partículas coloidais do solo. A existência de cargas negativas nos argilominerais é uma propriedade indispensável a nutrição de plantas, pois em função disso, o solo pode reter, através da adsorção, e trocar cátions

como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ , entre outros, com a solução do solo ( INDA JUNIOR et al., 2012).

As práticas de manejo influenciam diretamente o PCZ do solo. Os teores de MOS tendem a diminuir com o cultivo do solo, o que pode causar aumento do PCZ, podendo ser encontrada, em alguns casos, uma carga líquida nula ou positiva nos horizontes subsuperficiais dos solos altamente intemperizados (ALLEONI et al., 2009).

Siqueira et al. (2012) ao avaliar o efeito da MOS sobre o PCZ de cinco perfis de Latossos brasileiros, observaram que os solos de natureza oxídica tiveram queda linear do PCZ com o aumento de C, enquanto que, nos solos de natureza caulínica, o comportamento da queda do PCZ foi quadrática. A contribuição da carga negativa pela MOS é mais pronunciada nos solos oxídicos dos trópicos húmidos, reduzindo o PCZ desses solos em uma unidade de pH para cada  $1 \text{ dag kg}^{-1}$  de aumento de teor de COT (GILLMAN, 1985).

Pragana (2011), encontrou valores negativos de  $\Delta\text{pH}$  nas camadas superficial de subsuperficial em três perfis de Latossolos Amarelos na Serra do Quilombo, no cerrado piauiense. Além da MOS, a caulinita, argilomineral predominante nesta região (PRAGANA, 2011) e que apresenta PCZ de 4,6 também contribui para valores de  $\Delta\text{pH}$  negativos, por equilibrar a tendência de geração de cargas positivas pelos óxidos de Fe e Al, que possuem PCZ de aproximadamente 8,0 e 9,0, respectivamente (SPARKS, 2002).

### **2.5.2 Ponto de efeito salino nulo**

O ponto de efeito salino nulo (PESN), termo originalmente proposto por Parker et al. (1979) e adaptado para a língua portuguesa por Alleoni & Camargo (1993). 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 (SPOSITO,1989).

Em meio aos atributos eletroquímicos, o que apresenta maior importância para solos intemperizados das regiões tropicais é o PESN, onde o mesmo é utilizado na descrição de fenômenos decorrentes da dupla camada elétrica de interfaces reversíveis (SAKURAI et al., 1989; ALLEONI E CAMARGO, 1994a,b; ZHANG E ZHAO, 1997) e na determinação de vários atributos pedológicos (FONTES et al., 2001).

O PESN apresenta um 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. Quando o pH do solo for menor que o PESN, os sítios de carga variável tornam-se predominantemente carregados positivamente, facilitando a retenção aniônica. Por outro lado, se o pH do solo for maior que o PESN, eles desenvolvem, na sua maioria, carga negativa, favorecendo a troca catiônica (UEHARA E GILLMAN, 1981).

Diversos são os fatores que podem afetar o PESN, mas um dos principais é as práticas de manejo do solo, e dentre os constituintes do solo que afetam o PESN destacam-se o aluminossilicato caulinita, a matéria orgânica, os óxidos de ferro e alumínio e os materiais amorfos (RAIJ, 1973). A possibilidade de reverter a carga líquida do solo tem sido demonstrada por vários autores, como Rajj e Peech (1972) e Uehara e Gillman (1981). Pois acredita-se que a mudança de potencial eletroquímico do solo esteja diretamente relacionada com práticas de manejo, especialmente a aplicação de adubos 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.

Os óxidos de ferro e alumínio possuem PESN mais elevados, enquanto os aluminossilicatos e a matéria orgânica apresentam PESN mais baixos. Essas informações indicam que os solos mais intemperizados apresentam maiores valores de PESN em decorrência de sua mineralogia mais oxídica (ALVES, 2002). No entanto, já é bem conhecido que a adsorção de ânions na superfície promove abaixamento nos valores de PESN do solo e, conseqüentemente, a geração de carga negativa a valores abaixo do pH dos Latossolos (RAIJ E PEECH, 1972; MORAIS et al., 1976; SANTOS et al., 1977; HENDERSHOT E LAVKULICH, 1978; TESSENS, 1984; SIQUEIRA, 1985).

Diante do exposto constatou-se em trabalhos com Latossolos que a matéria orgânica, constituindo a principal fonte de carga negativa no solo, teve grande influência sobre os valores do PESN fazendo com que os mesmos fossem menores que os valores de pH dos solos (COSTA et al.,1984; CHAVES E TRAJANO,1992; ALLEONI E CAMARGO,1994b; ALLEONI E CAMARGO,1994c).

A determinação do PESN é normalmente por meio de graficos construídos a partir de resultados experimentais de titulação potenciométrica, 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  $OH^-$  adsorvido por amostras de solo aos valores de pH atingidos pelas suspensões na condições de equilíbrio (RAIJ E PEECH, 1972).

Com isso teoricamente, todas as curvas de titulação potenciométrica deveriam cruzar-se em um mesmo ponto; contudo, em geral isso não ocorre. Em alguns casos, pode-se observar mais de um ponto de intersecção entre as curvas traçadas, especialmente quando a determinação do PESN é efetuada em amostras provenientes de solos menos inteperizados. Diante desse fato Costa et al. (1984), mencionam que nesses casos, considera-se o ponto central do triângulo, formado pelos três pontos de intersecção, como sendo o valor do PESN, contudo, essa consideração torna-se um quanto que arbitraria, fazendo com que a escolha do PESN seja bastante subjetiva (ALVES, 2002).

### 3-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI J, MACEDO J, AZEVEDO LG, MADEIRA NETO J. Caracterização da região do cerrado. In: Goedert WJ, editor. Solos dos cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: Embrapa CPAC; São Paulo: Nobel; 1986. p.33-74.
- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: A ocupação do cerrado piauiense. *Ambiente e Sociedade*, v.8, n.2, p.1-18, 2005.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.799-806, 2003.
- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J F. M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno alumínico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.29, n.6, p. 963-975, 2005.
- ALCÂNTARA, L. R. F.; CAMARGO, O. A. de. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 4, p. 369-376, 2005.
- ALLEONI, L.R.F. & CAMARGO, O.A. Modelos de dupla camada difusa de Gouy-Chapman e Stern aplicados em Latossolos ácidos paulistas. *Sci. Agric.*, 51:315-320, 1994a.
- ALLEONI, L.R.F. & CAMARGO, O.A. Potencial elétrico superficial e carga elétrica líquida de Latossolos ácidos. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:181-185, 1994b.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O. A. Pontos de efeito salino nulo de latossolos ácidos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.18, n.2, p.175-180, 1994c.
- ALLEONI L. R. F.; MELO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. *Química e mineralogia do solo*. 2v. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Cap. XII, p. 68-129.
- ALVES, M.E. Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 154p. (Tese de Doutorado)
- Anda, M.; Shamshuddin, J.; Fauziah, C. I.; Omar, S. R. S.; *Geoderma* 2008, 143, 153.
- ALVAREZ, R. & LAVADO, R.S. Climatic, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*, vol. 83, p.127-141,1998.
- APPEL, C.; MA, L. Q. ; RHUE, R. D. ; KENNELLEY, E. Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility. *Geoderma*, v. 113, n. 1/2, p. 77-93, 2003.
- APPEL, C.; MA, L.; Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils *J. Environ. Qual.* 2002, 31, 581.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.1, p.32-40, 2007.

BASSO FC, ANDREOTTI M, CARVALHO MP, LODO BN. Relações entre produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e teor de matéria orgânica de um Latossolo do Cerrado. *Pesq Agropec Trop*. 2011;41:135-44.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; FÁBIO PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n.09, p. 1269-1276, 2007.

BOLAN, N. S.; NAIDU, R.; SYERS, J. K.; TILLMAN, R. W. Surface charge and solute interactions in soils. *Advances in Agronomy*, v.67, p.87-140, 1999.

BRADY, N. C. *The Nature and Properties of Soils*, New York, v. 07, 1989, 898p.

CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. *Scientia Agricola*, v.63, p.502-509, 2006.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. DE F. E NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, dez. 2011

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 27, p. 51-59, 2003.

CASSETI, V.; DIAS, R. R.; BORGES, R. S. T. Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Imperatriz. Geomorfologia da Folha SB.23-V-C. Estado do Tocantins. 2.ed. Palmas, Seplan/DZE, 2004.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Ciência Rural*, vol. 33, n. 6, p. 1161- 1164, 2003.

CHAVES, L. H. G.; TRAJANO, M. D. M. Determinação do ponto de carga zero e das cargas elétricas do horizonte Ap de solos do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 16, n. 3, p. 415-418, 1992.

CHAVES, L.H.G. Alterações físico-hídricas relacionadas às propriedades eletroquímicas do solo. Revisão bibliográfica. *Agropecuária técnica*, v. 20, p.76-81, 1999.

CHIODEROLI CA, MELLO LM, GRIGOLLI PJ, FURLANI CEA, SILVA JOR, CESARIN AL. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. *R Bras Eng Agríc Amb*. 2012;16:37-43.

CHOROM, M.; RENGASAMY, P. Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. *Eur. J. Soil Sci*. 1995, 46, 657.

CLAUSEN, L.; FABRICIUS, I.; MADSEN, L.; Adsorption of pesticides onto quartz, calcite, kaolinite, and  $\alpha$ -alumina *J. Environ. Qual*. 2001, 30, 846.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em : <http://conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2> Acesso em 29/01/16

COSTA, L. M. da.; MORAIS, E. J. de.; RIBEIRO, A. C.; FONSECA, S. da. Cargas elétricas de um latossolo vermelho-amarelo com diferentes coberturas florestais. *Revista Ceres*, v. 31, n. 177, p. 351-359, 1984.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M. L.; KENY S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P. PARIZ, C. M., BONINI, C. DOS S. B., & LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa , v. 39, n. 3, p. 852-863, jun. 2015 .

DALCHIAVON FC, CARVALHO MP, NOGUEIRA DC, ROMANO D, ABRANTES FL, ASSIS JT, OLIVEIRA MS. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesq Agropec Trop*. 2011;41:8-19.

DANTAS, K. P.; MONTEIRO, M. S. L. Valoração econômica dos efeitos internos da erosão: impactos da produção de soja no Cerrado piauiense. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 48, n. 4, p 619-663,2010.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p 2 ed.

Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - Febrapdp. [Acesso: 24 de outubro de 2014]. Disponível: <http://www.febrapdp.org.br/>.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1625-1635, 2007.

FLORES JPC, ANGHINONI I, CASSOL LC, CARVALHO PCF, LEITE JGDB, FRAGA TI. Atributos físicos do solo, rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *R Bras Ci Solo*. 2007;31:771-80.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. DA; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.1, p.22-30, 2007.

FONTES, M. P. F.; ALLEONI, L. R. F. Electrochemical attributes and availability of nutrients, toxic elements, and heavy metals in tropical soils. *Scientia Agrícola*, v.63, n.6, p.589-608, 2006.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v.58, n.03, p.627-646, 2001.

FRIEDMAN, D.; HUBBS, M.; TUGEL, A.; SEYBOLD, C.; SUCIK, M. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. Washington: United States department of agriculture, 2001, 48 p.

GARCIA, R. V.; OLIVEIRA, M. L. de; MELLO, L. W. V. de; PRIMAVESI, O. Alteração do caráter eletroquímico de um latossolo vermelho-amarelo do Estado de São Paulo sob diferentes sistemas de manejo. *Unimontes Científica*, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2003.

GAST, R.G. Surface and colloid chemistry. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) *Minerals in soil environments*. Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.27-73.

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

GILLMAN, G.P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. *Aust. J. Soil Res.*, 12:173-176, 1974.

GUEDES FILHO O, SILVA AP, GIAROLA NFB, TORMENA CA. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. *Geoderma*. 2013;204/205:94-101.

HENDERSHOT, W.H. & LAVKULICH, L.M. The use of zero point of charge (ZPC) to assess pedogenic development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:468-472, 1978.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. acesso: 04 de novembro de 2014]. Disponível: <http://www.ibge.gov.br>.

INDA JUNIOR, A. V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E. J. *Fundamentos de Química do Solo*. 4. Ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. Cap. 2, p. 28-59

JACOMINE, P.K.T. et al. Levantamento exploratório. Reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro. EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN. 1986. 782 p ilust.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H.A. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa: UFV, 2003. v.3, p.1-54.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, v5, p. 17-40, 1998.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration for Sustaining Agricultural Production and Improving the Environment with Particular Reference to Brazil. *Journal of Sustainable Agriculture*, v.26, p.23-42, 2005.

LEITE, L.F.C; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R; ARAÚJO, F.S. & IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.12, p.1273–1280, 2010.

LIMA FILHO, F. P. 1992. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano) da bacia do Parnaíba. *Geodiversitas – USP, Série Científica*, n 23, p.27

LUCHIEZI JUNIOR, A.; PUFAL, D. V. de L. & GONÇALVES, G. T. 2003 (Online) Repercussões Ambientais da Expansão da Soja no Cerrado e seus Vínculos com a Liberalização do Comércio e a Política Macroeconômica Brasileira. Disponível em: <<http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa2/4.doc>>. Acesso em 05 nov. 2015.

LUIZ F. C. LEITE, SANDRA R. S. GALVÃO, MANOEL R. HOLANDA NETO, FERNANDO S. ARAÚJO & BRUNA F. IWATA.. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.12, p.1273–1280, 2010.

MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; CHANG, A. C.; CURI, N.; GUERREIRO, M. C.; Changes in isoelectric point as affected by anion adsorption on two Brazilian Oxisols *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2006, 37, 1357.

MATIAS, M. DE C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C. E GALVÃO, S. R. DA S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza*, v. 40, n. 3, p. 356-362, jul-set, 2009

MENDONÇA VZ., MELLO LMM, ANDREOTTI M, PEREIRA FCBL, LIMA RC, VALÉRIO FILHO WV, YANO EH. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. *R Bras Ci Solo.* 2013;37:251-9.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, E. J. *Fundamentos de Química do Solo.* 4 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. Cap. 5, p. 113-154.

MIRANDA, H. Expansão da agricultura e sua vinculação com o processo de urbanização na Região Nordeste/ Brasil (1990-2000). *Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales*, v. 38, n. 114, p. 173-201, 2012

MONTANARI, R., PANACHUKI, E., LOVERA, L. H., CORREA, A. R., OLIVEIRA, I. SOUZA, Q., H. ANDRADE, & TOMAZ, P. K.. Variabilidade espacial da

produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-pantanal, MS. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 385-396, abr. 2015.

MORAIS, F.I.; PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 40:521-527, 1976.

MOTA, J. C. ANUNCIATO; ALENCAR, T. L. DE; ASSIS JUNIOR, R. N. DE. Alterações físicas de um Cambissolo cultivado com bananeira irrigada na chapada do apodi, Ceará. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1015-1024, ago. 2015.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L.; CALEGARI, A. Adubação do milho. Campinas: Fundação Cargil, 1989, 29p. (Série técnica, 04) nomenclatura. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do

PARKER, J.C.; ZELAZNY, L.W.; SAMPATH, S.; HARRIS, W.G. A critical evaluation of the extension of zero point of charge (ZPC). Theory to soil systems. Soil Science Society of America Journal, v. 43, n.4, p. 668 – 673, 1979.

PRAGANA, R. B.; Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de solos sob plantio direto na serra do quilombo, sudoeste Piauiense. 2011. 159 f, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R. E DA COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado Piauiens. R. Bras. Ci. Solo, 36:1591-1600

RABARY, B.; SALL, S.; LETOURMY, P.; HUSSON, O.; RALAMBOFETRA, E.; MOUSSA, N.; CHOTTE, J. L. Effects of living mulches or residue amendments on soil microbial properties in direct seeded cropping systems of Madagascar. Applied Soil Ecology, v.39, p.236-243, 2008.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. V. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1988. 88p.

RAIJ, B. V. Determinação do ponto de carga zero em solos. Bragantia, v. 31, n. 18, p. 337-347, 1973.

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

REICHERT JM, SUZUKI LEAS, REINERT DJ, HORN R, HÅKANSSON I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil Till Res. 2009:102:242-54.

RIBEIRO, B.T.; DE LIMA, J.M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G.C.; LIMA, P.L.T. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. Química Nova, v. 34, p. 5-10, 2011.

- ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 27, n.5, p. 911-923, 2003.
- SAKURAI, K.; OHDATE, Y. & KYUMA, K. Factors affecting zero point of charge (ZPC) of variable charge soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 35:21-31, 1989.
- SANTOS HP, SPERA ST, TOMM GO, KOCHANN RA, ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo, de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. *Bragantia*. 2008;67:441-54.
- SANTOS, G.A.; BRAUN, W.A.G. & VELLOSO, A.C.X. Ponto de carga zero de Latossolos gibsíticos e Latossolos caulíníticos sob Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 16., São Luís, 1977. Anais. São Luís, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1977. p.35.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; FABRIS, J.D. & KER, J.C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. *Clay Miner.*, 43:137-154, 2008.
- SIQUEIRA, C.; LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. & SANTOS, G.A. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:13-17, 1990.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SÁ, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage. *Agronomie*, v.22, p.755-775, 2002. *Solo*, v.18, n.1, p.5 – 11, 1993.
- SOUZA, Z. M. & ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 133-139, 2003.
- SPARKS, D. L.; *Environmental soil chemistry*, Academic: California, 2003.
- SPARKS, D. L. *Environmental soil chemistry*. 2 ed. San Diego: Academic Press, 2002. 352p.
- SPARKS, D.L. *Soil Physical Chemistry*. 2.ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1999. 408p.
- SPODIO, G. *The chemistry of soil*. 2 ed. New York: Oxford University Press, 2008, 342 p.
- SUMNER, M. E. Em *The electrical double layer and clay dispersion*; SUMNER, M. E.; Stewart, B. A., eds.; Lewis: Boca Raton, 1992, cap. 2.
- TAN, K. H.; *Principles of soil chemistry*, 2<sup>nd</sup> ed., M. Dekker: New York, 1993.
- TAVARES, S.R.L.; MELO, A.S.; ANDRADE, A.G.; ROSSI, C.Q. E CAPECHE, C.L. (eds.). (2008) - Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de

recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 228 p. Disponível em <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html>.

TESSENS, E. Correlation between various properties and the mineralogical composition of some tropical soils. *Pédologie*, 34:35-42, 1984.

TESSENS, E.; ZAUZYAH, S. Positive permanent charge in Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, v.46, p.1103-1106, 1982.

UEHARA, G. & GILLMAN, G.P. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Boulder: Westview Press, 1981. 170p.

WEBER, O. L. S.; CHITOLINA, J. C.; CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. *Bras. Ci. Solo* 2005, 29, 867.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.487-494, 2005.

ZHANG, X.N. & ZHAO, A.Z. Surface charge. In: YU, T.R., eds. *Chemistry of variable charge soils*. New York, Oxford University Press, 1997. p.17-63

## CAPÍTULO II

### ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DO CERRADO PIAUIENSE SOB SISTEMAS DE MANEJO

SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS. ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DO CERRADO PIAUIENSE SOB SISTEMAS DE MANEJO. 2016. P 28 -45. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ, PI<sup>1</sup>.

#### RESUMO

A região do cerrado piauiense é considerada a última fronteira agrícola do País. Sua utilização de forma sustentável depende, dentre outros fatores, dos sistemas de manejo do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo do cerrado piauiense sob diferentes sistemas de manejo: plantio direto de 10 anos (PD10), plantio convencional de 2 anos (PC2), plantio convencional de 3 anos (PC3), plantio convencional de 15 anos (PC15) e vegetação de cerrado nativo (CN). As amostras de solo foram coletadas na Serra do Quilombo no município de Bom Jesus-PI, nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-30 cm. Foram determinados o pH em água,  $Al^{3+}$ ,  $H + Al$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , P disponível e matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), soma de bases (SB), saturação por bases (V%). Em todas as profundidades, os teores de  $Al^{3+}$  e  $H+Al$  foram menores nos sistemas PD e PC em relação ao CN. Os sistemas de cultivo (PD e PC) apresentaram maiores teores de P disponível e de Ca, Mg, K trocáveis e SB principalmente nas camadas superficiais. A MO apresentou maior teor para o PC15 e PD10, onde esses valores apresentaram declínio com o aumento da profundidade. As análises realizadas indicam que o manejo interfere na qualidade química do solo. Com isso, sistema de plantio direto é uma alternativa sustentável para a melhoria da qualidade do solo, em áreas do cerrado piauiense.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fertilidade do solo, plantio direto, plantio convencional.

<sup>1</sup>Orientador: Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## ABSTRACT

SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS. **chemical properties of a Yellow Latosol of Cerrado Piauí under management systems** . 2016. P 28 -54 . Dissertation ( Master in Plant and Soil Nutrition ) - University of Piauí, PI<sup>1</sup> .

The region of piauí savanna is considered the last agricultural frontier of the country. Its use in a sustainable way depends, among other factors, of the soil management systems. The aim of this work was to evaluate the changes in the chemical attributes of a Yellow Latosol of piauí savanna under different management systems: no-tillage for 10 years (PD10), conventional tillage for 1 year (PC1), conventional tillage for 2 years (PC2) and vegetation of native savanna (CN). The soil samples were collected in the Serra do Quilombo in the municipality of Bom Jesus-PI, at depths of 0-10; 10-20 and 20-30 cm. Were determined the pH in water,  $Al^{3+}$ ,  $H^+$  Al,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , available P and organic matter (OM), capacity exchange cations at pH 7.0 (T), sum of bases (SB), saturation for bases (V%). In all depths, the levels of  $Al^{3+}$  and  $H^+$ Al were lower in PD and PC systems in relation to the CN. The cultivation systems (PD and PC) showed higher levels of P available and of Ca, Mg, K exchangeable and SB mainly in the superficial layers. The MO presented higher content for the PC15 and PD10, where those values showed a decline with the increase of the depth. The analyzes indicate that the management interferes with the chemistry of the soil quality. With this, no-till system is a sustainable alternative to improve soil quality, in Piauí Savanna areas.

**KEYWORDS:** Soil Fertility. no-tillage. conventional tillage

<sup>1</sup>Advisor: Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## 1 – INTRODUÇÃO

No Piauí, o Cerrado ocupa mais da metade da área territorial, estando presente em toda a região Sudoeste e parte do extremo Sul do Estado. Os solos predominantes, nesta região, são os Latossolos que apresentam grande potencial agrícola, embora necessitem de correção da acidez e de sua fertilidade (AZEVEDO et al., 2007). Nas últimas três décadas tem-se observado um aumento expressivo das atividades agrícolas em áreas do cerrado, com intensa substituição da vegetação nativa por áreas cultivadas, especialmente para produção de alimentos, fibra e energia (FERREIRA et al., 2007).

A transformação desses ambientes naturais para sistemas agrícolas tem provocado em algumas regiões a degradação do solo em consequência de sua exploração inadequada (FONSECA et al., 2007). Neste sentido, a adoção de sistemas de manejo do solo considerados conservacionistas, como o plantio direto (PD), tem-se apresentado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo, principalmente nos Latossolos (BAYER et al., 2006). No sistema de semeadura direta ocorre o acúmulo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras na superfície do solo, causando o contínuo aporte de matéria orgânica na camada superficial e melhorias nos seus atributos físicos e químicos (GUARESCHI et al., 2012).

As propriedades químicas dos solos são significativamente modificadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em decorrência da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas (FREITAS et al., 2015). Essas alterações dependem de vários fatores, como a cultura implantada e o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000). Assim, as alterações nos teores de nutrientes do solo e o conhecimento da fertilidade dos solos são fatores primordiais para a obtenção de sucesso na atividade agrícola (FRAZÃO et al., 2008).

Segundo Cardoso et al. (2011), avaliações das alterações nas propriedades do solo decorrentes de impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa, ou seja em condições naturais.

O estudo dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (REICHERT et al., 2009).

O objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, no Cerrado Sudoeste piauiense.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na Serra do Quilombo, no município de Bom Jesus-PI, região Sudoeste do estado do Piauí, sob bioma cerrado, onde predomina clima quente e semiúmido do tipo Aw (Köppen), com temperatura média de 26,5 °C e precipitação média anual de 1200 mm, com estação chuvosa de outubro a abril, sendo de janeiro a março o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de veranicos. As áreas de estudo os solos são caracterizados como Latossolos Amarelos distróficos típicos, profundos e bem drenados. Essa área foi selecionada para o desenvolvimento do experimento porque tem grande importância econômica para o Estado do PI, em razão da sua grande extensão e relevo plano, excelentes condições para a expansão agrícola do Estado; além disso, é uma área carente de pesquisas científicas.

O sistema de manejo do solo mais comumente utilizado no cerrado piauiense é o plantio convencional (PC), porém o sistema de plantio direto (PD) está em expansão. Assim, foram selecionados talhões submetidos a diferentes tempos de uso em sistemas de PC e PD, nas fazendas Colorado e Marafon. A tabela 1 apresenta o histórico de uso dos solos das áreas estudadas e a localização geográfica.

### 2.2 Delineamento experimental

**Tabela 1:** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas no cerrado sudoeste piauiense

Sistemas de manejo e uso do solo	Histórico
<b>Cerrado nativo (CN)</b>	Vegetação nativa de cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas 09°13' 15,6'' S e 44°47' 07,1'' W Gr.
<b>Plantio convencional de 2 anos (PC2)</b>	A área foi desmatada em 2012, no ano de 2013 foi aplicado 8 toneladas de calcário dolomítico, aplicação foi feita em duas etapas (4 toneladas e incorporadas com grade 32'' + 4 toneladas e incorporadas com grade 32''), mais 800 kg de gesso agrícola e incorporado com grade niveladora. No ano agrícola 13/14 foram usados 250 kg/ha de superfosfato triplo (00-43-00), na linha de plantio da soja e 150 kg/ha de KCl distribuídos a

---

lanço antes do plantio da soja. No ano agrícola (2014/2015) foi aplicado 230 kg/há de superfosfato triplo (00.43.00) na linha de plantio mais adubação a lanço e 250 kg/ha da fórmula 00.12.30 +6 % S. Para implantação da cultura da soja .Coordenadas 09°15' 17,7'' S e 44°47' 27,5'' W Gr.

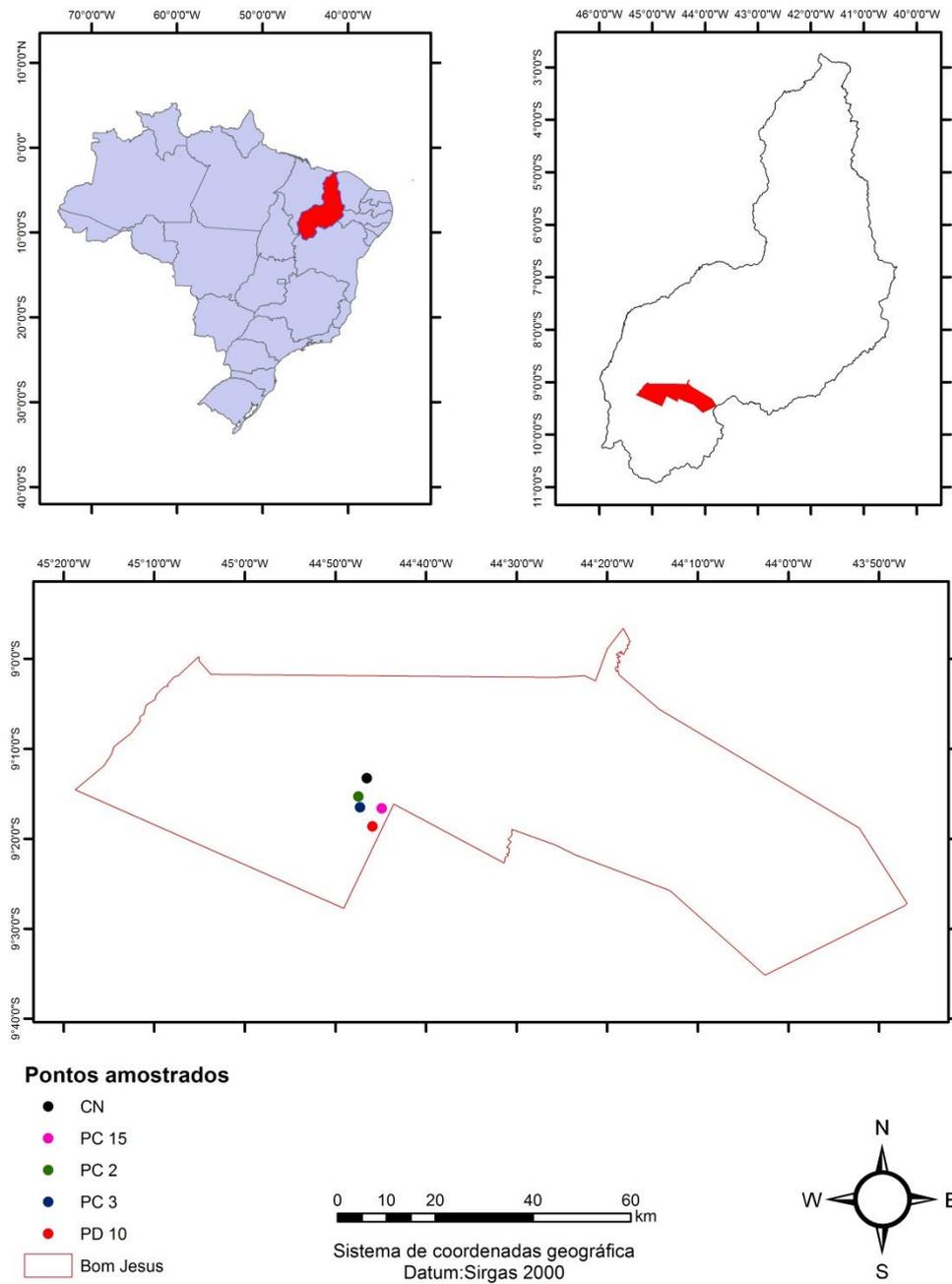
**Plantio convencional de 3 anos (PC3)** A área foi desmatada em 2012. No ano agrícola (2012/2013) foi aplicado 6 t/ha de calcário, 350 Kg/ha de P e 160 Kg/ha de KCl e implantado a cultura da soja. No ano agrícola (2013/2014), foi aplicado 250 Kg/ha de P, 110 Kg/ha de KCl e implantado a cultura de soja No ano agrícola (2014/2015) foi aplicado 230 kg/há de superfosfato triplo (00.43.00) na linha de plantio da soja mais adubação a lanço antes do plantio e 250 kg/há da fórmula 00-12-30 +6 % S. Para implantação da cultura da soja. Coordenadas 09°16' 30,9'' S e 44°47' 17,3'' W Gr.

**Plantio convencional de 15 anos (PC15)** A área foi desmatada em 1999 e gradeada, no ano agrícola (2000/2001) foi aplicado 2 Mg/ha de calcário e implantado a cultura de arroz, em 2001 foi aplicado 2 Mg/ha de calcário e no ano agrícola (2001/2002) implantada a cultura da soja, (2003/2004), em PC. Em 2006 foi introduzido a cultura de soja sob PD, mantendo-se nos anos agrícolas de (2006/2007) e (2007/2008). No ano agrícola (2008/2009), foi adicionado 2 Mg/ha de calcário e subsolador, retornado a semeadura direta no ano (2009/2010) com soja e em (2010/2011) voltou ao PC com soja e milho, em (2011/2012) apenas soja, em (2012/2013) apenas milho e em seguida foi adicionado 2 Mg/ha de calcário sem incorporação, no ano (2013/2014) foi implantado soja e milho e (2014/2015) apenas milho. A área total é de 83 hectares. Coordenadas 09°16' 38,3'' S e 44°44' 52,8'' W Gr.

**Plantio direto de 10 anos (PD10)** O sistema PD foi implantado em 2005, com soja, utilizando o milho na formação da palhada, após 3 anos foi aplicado 2 toneladas de calcário e plantado milho, seguido de 2 anos de soja e aplicado 2 toneladas de calcário e plantado milho, e seguida plantada soja nos últimos anos, formando os 10 anos de sistema de plantio direto. Coordenadas 09°18' 38,4'' S e 44°45' 54,7'' W Gr.

As amostras de solo, foram coletadas em cada talhão (tratamento), nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-30 cm, com 5 repetições de amostras simples para cada área.

## Mapa de localização da área de estudo



**Figura 1:** Localização da área de estudo

### **2.3 Análises química**

Para a caracterização química foram determinados os seguintes atributos: pH em água na proporção (1:2,5); potássio ( $K^+$ , por fotometria de chama; fósforo disponível (P) , por colorimetria em presença de ácido ascórbico, após extração com solução de Mehlich<sup>-1</sup>, de acordo com Embrapa (2011); os cátions trocáveis, cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), alumínio ( $Al^{3+}$ ) e hidrogênio mais alumínio (H + Al), conforme Van Raij et al. (2001) e matéria orgânica, pelo método indireto do carbono orgânico total com aquecimento externo, como descrito por Yeomans e Bremner (1988). Com base nessas determinações, foram calculadas, a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), a percentagem de saturação por base (V%).

### **2.4 Análises estatística**

Sendo os dados submetidos à análise de variância e a comparação das médias dos tratamentos e profundidades utilizando-se o Teste Tukey P <0,05 de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2007).

### 3–RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apresentados na tabela 2 pode-se observar que os valores de pH foram maiores na camada de 0-10 cm decrescendo com o aumento da profundidade. E a partir de 20 cm de profundidade os solos não apresentaram diferenças significativas nos valores de pH entre os manejos PC/PD e o CN. Pereira *et al.* (2007), obtiveram resultados similares ao do presente estudo, observando maiores valores de pH na camada superficial do solo, decrescendo com a profundidade, onde atribuíram este fenômeno às características de tamponamento da MO e/ou ao aumento da força iônica da solução do solo, pelo incremento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  na camada superficial.

**Tabela 2:** Valores médios dos atributos químicos do solo de um Latossolo Amarelo distrófico sob sistemas de manejo, em três profundidades

MANEJO	pH	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	M.O.	SB	T	V
	(H2O)		cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/Kg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	%
<b>0-10 cm</b>										
CN	4,84 A	5,85 D	1,21 B	0,56 A	0,38 A	0,80 A	4,34 A	0,95 A	8,01 B	11,98A
PC2	5,72 B	3,02 B	0,10 A	2,43 C	0,97 B	1,65 A	5,22 A	3,43 B	6,55 B	54,34B
PC3	5,97 C	1,58 A	0,14 A	1,84 B	1,09 B	2,63 A	5,09 A	2,95 B	4,67 A	63,17C
PC15	5,66 B	6,48 D	0,22 A	3,09 D	1,37 B	5,35 B	9,25 B	4,51 C	11,21 C	40,34B
PD10	5,60 B	4,57 C	0,19 A	1,89 B	1,23 B	5,80 B	5,99 A	3,17 B	7,93 B	41,65B
<b>10-20 cm</b>										
CN	4,78 A	4,53 B	1,01 C	0,18 A	0,06 A	0,73 A	3,09 A	0,24 A	5,78 A	4,29 A
PC2	5,36 B	2,85 A	0,29 A	1,20 C	1,11 C	0,92 A	3,03 A	2,37 C	5,51 B	43,14D
PC3	5,14 B	1,97 A	0,27 A	0,71 B	0,78 B	1,61 A	3,30 A	1,49 B	3,73 A	41,02D
PC15	4,87 A	6,37 C	0,81 B	1,26 C	0,81 B	2,82 B	5,02 B	2,11 C	9,29 C	22,83B
PD10	5,13 B	2,83 A	0,67 B	0,85 B	0,65 B	2,60 B	3,57 A	1,52 B	5,02 B	30,23C
<b>20-30 cm</b>										
CN	4,79 A	5,13 B	0,89 C	0,10 A	0,05 A	0,74 A	3,58 A	0,15 A	6,17 B	2,54 A
PC2	4,84 A	2,27 A	0,57 B	0,78 B	0,48 B	0,83 A	2,80 A	1,26 B	4,10 A	32,60B
PC3	4,95 A	1,84 A	0,30 A	0,57 B	0,30 B	1,11 A	2,46 A	0,88 B	3,02 A	28,97B
PC15	4,63 A	6,02 B	0,80 C	1,28 C	0,83 C	0,95 A	1,89 A	2,12 C	8,94 C	23,71B
PD10	4,87 A	5,13 B	0,67 B	0,54 B	0,42 B	1,22 A	2,18 A	0,98 B	4,64 A	22,21B
CV	4,49	25,28	28,23	29,89	38,81	58,7	35,18	22,57	17,62	21,57

Médias de cinco repetições. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% na coluna. CN – Cerrado nativo; PC2 – Plantio convencional de 2 anos; PC3 – Plantio convencional de 3 anos; PC15 – Plantio convencional de 15 anos; PD10 – Plantio direto de 10 anos; CV - coeficiente de variação %.

Resultados semelhantes também foram observados por Matias et al. (2009), em estudo realizado no cerrado Piauiense, onde relataram o aumento de pH pela adição de calcário, quando aplicado à superfície do solo ou quando incorporado, verificando a não correção da acidez do subsolo, ou seja na camada de 20–40 cm, em sistema sob PD. Os resultados de Alleoni et al. (2005) corroboram o efeito da aplicação do calcário em superfície, os quais reportaram que a calagem, na superfície ou com a incorporação, não influenciou a correção da acidez do subsolo (20-40 cm) em sistema sob plantio direto.

Os valores de acidez potencial (H+Al) variaram entre os usos (Tabela 2), apresentando comportamento similar ao mostrado pelo Al, com os maiores valores observados na mata e os menores nos sistemas de manejos. No entanto o maior valor apresentado entre os usos foi no PC15 nas três profundidades, o que não aconteceu com o Al, indicando que a diferença na acidez potencial nesse ambiente deve-se ao maior valor de H<sup>+</sup>. Isso se explica pelo maior teor de matéria orgânica observado no PC15, já que a matéria orgânica do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H<sup>+</sup> que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (SOUSA *et al.*, 2007) e acidificá-lo.

Os solos do CN apresentaram maiores teores de Al<sup>3+</sup>, quando comparados aos sistemas PD e PC nas diferentes profundidades (Tabela 2), o que evidencia as altas concentrações de Al<sup>3+</sup> nos sistemas sob condições naturais de solos de cerrado (SOUSA; LOBATO, 2004). Os altos teores de alumínio trocável são esperados em solos sob vegetação nativa que sustenta vegetação altamente adaptada ao efeito tóxico do Al<sup>3+</sup> e com baixos teores de nutrientes (SOARES *et al.*, 2011). Resultados semelhantes foi observado por Matias et al., (2009) os quais reportaram que a redução no teor de Al<sup>3+</sup> nos sistemas PD e PC decorre dos efeitos da calagem.

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> variaram entre os diferentes usos do solo (Tabela 2). Os teores médios de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram maiores na área sob cultivo, nas três profundidades analisadas. Possivelmente, valores elevados desses nutrientes na área cultivada sejam devidos às aplicações de calcário e fertilizantes anteriores à amostragem do solo. No CN, os menores teores de nutrientes explicam-se, em parte, pelo fato de que, nesse ambiente, grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo (PORTUGAL *et al.*, 2008; PORTUGAL *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2015).

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela 2) foram superiores no PC em todas as profundidades principalmente no PC15, indicando melhor distribuição desse cátion em profundidade no PC. Freitas et al., (2015) observou em seu estudo que no sistema PD, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram superiores aos do PC apenas na profundidade de 10-20 cm. Petreire e Anghinoni (2001) observaram teores maiores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no sistema plantio direto, até a camada 5-10 cm, quando comparado com o sistema convencional. No entanto, a partir desta camada, os teores mais elevados foram observados no sistema convencional. De acordo com os autores, isso se deve à incorporação do calcário realizada no PC, promovendo maior distribuição desses elementos no perfil do solo.

Analisando os teores de P disponível (Tabela 2), em todas as profundidades, foram maiores nos sistemas cultivados, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados para o cultivo da soja e/ou milho. Maior valor foi observado no PD10, na profundidade de 0-10 cm, o que pode estar associado ao aumento de P orgânico, devido à maior presença dos resíduos orgânicos e de lenta decomposição.

Conte et al.(2002), afirmam que o acúmulo de fósforo na camada superficial do solo é considerado uma forma eficiente de armazenamento do mesmo e que no solo cultivado sob sistemas de plantio direto, os microrganismos são de suma importância tanto para a biociclagem como no armazenamento de fósforo em suas células, protegendo da adsorção pelos colóides do solo e, conseqüentemente, mantendo o fósforo na forma disponível por mais tempo.

O PC15 destacou-se entre as três áreas com sistema de plantio direto, apresentando maiores valores de P, o que pode ser atribuída em decorrência do tempo de cultivo na área com aplicações de adubos fosforados e também a adoção intercalada do plantio direto em alguns períodos pode ter contribuído para o aumento dos teores. Os resultados de P disponível evidenciam a possibilidade de se reduzir, no sistema PD, os gastos com fertilizantes fosfatados, uma vez que, superado o nível crítico de P no solo, este poderá ser mantido com menores quantidades de fertilizante aplicado, em relação às áreas sob preparo convencional.

Para os teores de SB, foram verificados também valores mais elevados nos sistemas PD e PC, em relação à CN, o que decorre especialmente das práticas de correção e adubação na camada arável dos sistemas cultivados (Tabela 2). A calagem promove aumento na CTC, pela elevação do pH, e, conseqüentemente, fornece sítios de troca para a retenção das bases trocáveis, podendo diminuir a migração vertical no perfil do solo (ALLEONI et al., 2005). Perin et al. (2003) constataram alterações nas

características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, em profundidade, sob vegetação de cerrado, quando submetido a diferentes sistemas de uso, sendo os resultados atribuídos à calagem e à fertilização por longos períodos. Outros estudos reportaram resultados contrários ao presente estudo, os autores afirmam que sistemas de manejo com pouco ou nenhum revolvimento de solo, tende a acumular cátions trocáveis, fosforo e matéria orgânica (SOUZA & ALVES,2003; FERREIRA et al., 2011).

Analisando os dados referentes a MO, observa-se que os valores desta variável decrescem em função do aumento da profundidade de amostragem do solo (Tabela 2). Apresentando-se maiores na camada 0-10 cm e menores valores na camada 20-30 cm. Um dos maiores teores foi encontrado no PD10. Resultados semelhantes a este estudo foram obtidos por Falleiro et al. (2003), os quais obtiveram maior teor de MO na camada superficial, graças ao não revolvimento do solo e à permanência dos resíduos culturais na sua superfície. O não revolvimento do solo leva a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico, tendo como consequência a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, que irão repercutir em sua fertilidade e na produtividade das culturas (PAUL et al., 2013).

Freitas et al. (2015) também encontraram valores de matéria orgânica superiores nas camadas superficiais. No entanto, os valores de MO foram maiores na mata, nas duas profundidades avaliadas, indicando que a retirada da mata e a utilização agrícola reduziram os teores de Carbono orgânico no solo. Esses resultados também estão de acordo com Portugal et al. (2010), segundo os quais há um declínio no estoque de MO após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. Segundo esses autores, essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas.

Os valores mais elevados de CTC (Tabela 2) coincidiram com os tratamentos com maiores teores de MO, valores também observado por Freitas et al. (2015), que estudaram atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejo . A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é fundamental e foi estimada entre 56 e 82% da CTC da camada superficial de solos sob condições tropicais (RAIJ, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação (CARNEIRO et al., 2009). Nos Latossolos brasileiros, a MO é a principal geradora de cargas negativas na superfície (SOUZA et al., 2007), sendo natural a maior CTC encontrada no PD10 e PC15, onde se encontram os maiores teores de MO. Outros

estudos reportaram resultados contrário ao presente trabalho, a CTC do solo teve seus maiores valores na área com mata nativa, na profundidade de 0-10 cm em relação às demais áreas (PORTUGAL et al., 2010; FREITAS et al., 2015).

Os valores de SB e V seguem a tendência dos valores descritos para  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  para todas as profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm), possuem maiores valores para as áreas de cultivos.

Diante do exposto pode-se afirmar que para a maioria dos nutrientes, os maiores valores médios, nas três profundidades estudadas, foram verificados nas áreas sob cultivo, quando comparados ao Cerrado Nativo. Esse comportamento pode ser atribuído ao tipo de manejo utilizado (adubação e calagem), além da incorporação superficial dos restos culturais, o que contribui com a ciclagem dos nutrientes extraídos pelas culturas anteriores. No cerrado nativo, pode-se explicar os teores baixos de nutrientes, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Latossolo oriunda do alto grau de intemperismo, característica dessa classe de solos (PORTUGAL et al., 2008).

#### **4- CONCLUSÃO**

As análises realizadas indicam que o manejo interfere na qualidade química do solo. Com isso, sistema de plantio direto é uma alternativa sustentável para a melhoria da qualidade do solo, em áreas do cerrado piauiense.

A substituição da vegetação nativa pelos sistemas plantio convencional e direto melhora os atributos químicos do Latossolo Amarelo do cerrado Piauiense. Pois para a maioria dos nutrientes, os maiores valores médios, nas três profundidades estudadas, foram verificados nas áreas sob cultivo, quando comparados com a área testemunha (CN).

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T. de J.A. de; MONTEIRO, M. do S.L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. *Ambiente e Sociedade*, v.8, p.1-18, 2005.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 06, p. 923-934, 2005.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES BOER, C.A.; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1269-1276, 2007.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 141 - 149, 2014.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no Cerrado maranhense. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, v.86, n.2, p.237- 245, 2006.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no Cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1 - 9, 2013.

CAMPOS L. P., LEITE; L. F. C., MACIEL G. A., IWATA B. DE F. E NÓBREGA J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, dez. 2011.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal sul-mato-grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 613 - 622, 2011.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695 - 703, 2003.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147 - 157, 2009.

CONTE, E.; LANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Rio Grande do Sul, v. 26, p. 925-930, 2002.

DE MARIA, I. C.; NABUDE. P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.51, n.1-2, p.71-79, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 230 p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. Viçosa, v.27,p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, A N.K.F.; SOUZA, C.M.C.; BASTOS, L.F.; SILVA JUNIIOR, M.L.; MELO, V.S. Propriedades químicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo em Pacajá (PA). In: anais do 9º Seminário Anual de Iniciação Científica. P.1-4. 2011.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1625-1635, 2007.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. DA; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, n.1, p.22-30, 2007.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 2, p. 641 - 648, 2008.

FREITAS L. DE; CASAGRANDE J. C.; OLIVEIRA I. A. DE; CAMPOS M. C. C.; OLIVEIRA V. M. R. DE Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 229 - 240, abr. / jun. 2015.

GUARESCHI RF, PEREIRA MG, PERIN A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. *R Bras Ci Solo*. 2012;36:909-20.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic forest zone, Southeastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177 - 1182, 2000.

MATIAS, M. DA C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; E GALVÃO, S. R. DA S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 356-362, jul-set, 2009

PAUL, B.K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T.T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.164, p.14-22, 2013.

PEREIRA, R.G.; ALBURQUERQUE, A.W.; CUNHA, J. L. X. L.; PAES, R. A.; CAVALCANTE, M. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de sistemas de manejo. *Caatinga*, Mossoró, v. 22, n. 1, p.78-84, 2009.

PETREIRE, C. & ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:885-895, 2001.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M. & TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:791-796, 2003.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575 - 585, 2010.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 249 - 258, 2008.

RAIJ, B. V. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa e Fosfato, Piracicaba, 1981. p. 17 - 31.

RANDO, E. M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional. 161 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1981.

REICHERT, J. M. ; KAISER, D. R.; REINERT, D. J. E RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2009, vol.44, n.3, pp.310-319. ISSN

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, M. S.; MORAES, M. I. M. Nutrição mineral de espécies nativas em solos do Cerrado. In: Barbosa, L. M.(Ed.). Restauração ecológica: desafios atuais e futuros. São Paulo: Instituto de Botânica - SMA, 2011, p. 147 - 154.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In:\_\_\_\_\_. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. mBrasília: Embrapa, 2004. cap. 3, p. 81-96.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. Rev. Bras. Ci. Solo, v.27, n.1, p.133-139, 2003.

VAN RAIJ, B. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. cap 9, p. 173-180.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

### CAPITULO III

#### ATRIBUTOS ELETROQUÍMICO DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO SUDOESTE PIAUIENSE.

**SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS.** ATRIBUTOS ELETROQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO SUDOESTE PIAUIENSE. 2016. P 46-65 DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ, PI<sup>1</sup>.

#### RESUMO

O estudo das cargas elétricas do solo ajuda a explicar a estruturação do mesmo e a ocorrência de reações necessárias para a nutrição das plantas. O ponto de efeito salino nulo (PESN) é um importante parâmetro para caracterização das cargas superficiais destes colóides, pois, permite determinar a carga superficial líquida das partículas. Assim, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito dos sistemas de manejo e tempos de implantação, sobre o ponto de efeito salino nulo, o ponto de carga zero e a carga líquida de um Latossolo Amarelo no Cerrado piauiense e a correlação do PESN com atributos químicos e eletroquímicos. As amostras de solo foram coletadas no município de Bom Jesus, região Sudoeste do estado do Piauí, nas profundidades de 0 – 10; 10 – 20 e 20 – 30 cm. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições em cinco tratamentos: cerrado nativo (CN), plantio convencional de 15 anos (PC15), plantio direto de 10 anos (PD10) plantio convencional de 2 anos (PC2) e plantio convencional de 3 anos (PC3). O ponto de carga zero (PCZ) estimado dos colóides e o predomínio de cargas dos solos ( $\Delta pH$ ) foram determinados através do pH em H<sub>2</sub>O e em solução de KCl (1 mol L<sup>-1</sup>), na proporção de 1:2,5; conforme as equações propostas por Keng e Uehara (1974) e Uehara (1988), respectivamente. O PESN foi determinado segundo metodologia adaptada de Zelazny (1996). Foram utilizadas 16 soluções distintas, divididas em 2 grupos com diferentes forças iônicas, 0,005 M e 0,05 M, obtidas a partir da mistura de soluções de NaCl, HCl e NaOH. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias, dentro de cada profundidade, nos diferentes sistemas de manejo, comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e feito a correlação de Pearson ( $r$ ) do PESN com atributos químicos e eletroquímicos. As cargas elétricas predominantes no Latossolo Amarelo do Cerrado Sudoeste Piauiense são negativas, possivelmente em decorrência da ação do mineral caulinita e da matéria orgânica. O PESN correlacionou-se com o PCZ positivamente para todos os sistemas de manejo estudados e significativamente para 4 dos 5 sistemas, exceto para o PD10.

**PALAVRAS-CHAVE:** plantio direto, plantio convencional, ponto de carga zero, ponto de efeito salino nulo

---

<sup>1</sup>Orientador: Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## ABSTRACT

SANTOS, GLÁUCIA VIANA DOS . **Electrochemical attributes of an yellow Oxisol under management systems in Cerrado southwest Piauí** . 2016. P 48-65. Thesis (MS in Soils and Plant Nutrition ) - Federal University of Piauí , PI<sup>1</sup> .

The study of soil electrical loads helps to explain the structure of it and the occurrence of reactions necessary for plant nutrition. The point of zero salt effect (PZSE) is an important parameter to characterize the surface charges of these colloids thus determines the net surface charge of the particles. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of management and deployment times systems, on the point of zero salt effect, the point of zero charge and the net charge of an Oxisol in Piauí Cerrado and the correlation of PZSE with chemical and electrochemical attributes. Soil samples were collected in Bom Jesus, Piauí state Southwest region, in the depths 0-10; 10-20 and 20 - 30 cm. The experiment was conducted in a completely randomized design with five replications of five treatments: native cerrado (CN), conventional tillage 15 years (PC15) no-tillage 10 years (PD10) conventional tillage 2 years (PC2) and conventional tillage 3 years (PC3). The point of zero charge (PZC) of Colloid and estimate the prevalence of soil loads ( $\Delta pH$ ) was determined using the pH in H<sub>2</sub>O and KCl solution (1 mol L<sup>-1</sup>) in the proportion of 1: 2.5; according to equations proposed by Keng and Uehara (1974), and Uehara (1988), respectively. The PESN was determined according to the methodology adapted from Zelazny (1996 ) . 16 different solutions were used , divided into two groups with different ionic strengths , 0.005 mol L<sup>-1</sup> and 0.05 mol L<sup>-1</sup> , obtained from the mixture of solutions of NaCl , HCl and NaOH. Data were subjected to analysis of variance , the average being within each depth , the different management systems were compared by Tukey test (  $p < 0.05$  ) and made the Pearson correlation (  $r$  ) of PZSE with chemical attributes and electrochemical . The predominant electric charges in the Cerrado Piauiense Southwest Oxisoil are negative , possibly because of the kaolinite mineral and organic matter action. The PZSE correlated with PZC positively to all management systems studied and significantly only 4 of the 5 systems , except for the PD10 .

**KEYWORDS:** no-tillage, conventional tillage, point zero charge , point of null saline

---

<sup>1</sup>Advisor: Márcio Cleto Soares de Moura-UFPI/CPCE

## 1 – INTRODUÇÃO

O cerrado piauiense ocupa aproximadamente 11,5 milhões de hectares, sendo cinco milhões destes agricultáveis e três milhões adequados ao cultivo em grande escala. A expansão da agricultura nesta região se deu com a implantação de monoculturas em grande escala, as quais realizam o uso intensivo de defensivos agrícolas, fertilizantes, corretivos, além do emprego de avançada tecnologia química e intensa mecanização (CUNHA et al., 2008). A adoção de diferentes sistemas de manejo agrícola promovem modificações nas propriedades químicas do solo, como constatado por diversos autores (SOUZA & ALVES, 2003; TORMENA et al., 2004; ALBUQUERQUE et al., 2005; FRAZÃO et al., 2008).

O Cerrado piauiense por estar localizado nos trópicos úmidos, esta região apresenta solos altamente intemperizados, como os Latossolos que devido aos intensos processos pedogenéticos sofridos durante a formação, e por influência da mineralogia resultante, possuem propriedades que estão direta ou indiretamente relacionadas ao desenvolvimento e ao balanço de cargas elétricas na superfície das partículas que compõem seu sistema coloidal (SOUZA, 2015).

Normalmente, nas condições de pH dos solos agrícolas das zonas tropicais e subtropicais, pode haver predominância de cargas positivas e à medida que o pH se eleva passam a predominar cargas negativas nas superfícies das partículas (MEURER et al., 2012). No entanto, para conhecer a zona de pH onde ocorre esta mudança é necessário conhecer o seu ponto de carga zero (PCZ). O PCZ corresponde a um valor de pH do solo, no qual o número de cargas negativas iguala-se ao número de positivas.

Em solos com carga variável o PCZ, tem papel decisivo na formação dos agregados dos solos e na retenção dos íons adsorvidos, sendo o atributo mais importante para a descrição dos fenômenos decorrentes da Dupla Camada Elétrica (DCE) de interfaces reversíveis (ALLEONI et al., 2009).

O estudo das cargas elétricas das partículas coloidais é de fundamental importância para o entendimento de diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem nos solos, já que a maioria das reações eletroquímicas influenciam sua fertilidade e a nutrição de plantas, e também podem interferir em fenômenos relacionados ao seu manejo e conservação ocorre na superfície dessas partículas (FONTES et al., 2001).

O ponto de efeito salino nulo (PESN), termo originalmente proposto por Parker e et al. (1979) e adaptado para a língua portuguesa por Alleoni & Camargo (1993),

corresponde ao valor de pH onde a concentração salina da solução que se encontra 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 (SPODIO, 1989).

Vários são os fatores que afetam o PESN, como a natureza e quantidade de argila, teor de matéria orgânica, estado de intemperização do solo e práticas de manejo. Diante do exposto, credita-se que a mudança de potencial eletroquímico do solo esteja diretamente relacionada com práticas de manejo, especialmente a aplicação de adubos 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.

Os óxidos de ferro e alumínio possuem PESN mais elevados, enquanto os alumínios silicatos e a matéria orgânica apresentam PESN mais baixos. Essas informações indicam que os solos mais intemperizados apresentam maiores valores de PESN em decorrência de sua mineralogia mais oxídica (ALVES, 2002).

Nas últimas décadas a região do Sul do Piauí tem mostrado um grande poder de produção em escala comercial, a região destaca-se pelas plantações de soja, milho e feijão. Dessa forma, torna-se necessário avaliar as alterações na carga líquida, no PCZ e PESN de um Latossolo amarelo do cerrado piauiense, submetido a diferentes sistemas de manejo e o grau de correlação desses com os atributos químicos.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na Serra do Quilombo, no município de Bom Jesus-PI, região Sudoeste do estado do Piauí, sob bioma cerrado. Onde predomina clima quente e semiúmido do tipo Aw (Köppen), com temperatura variando de 18 a 36 °C e precipitação média anual de 1200 mm. Na área predominam Latossolos Amarelos distróficos típicos, profundos e bem drenados, em relevo plano. Essa serra foi selecionada para o desenvolvimento do experimento porque tem grande importância econômica para o Estado do PI, em razão da sua grande extensão, excelentes condições para a expansão agrícola do Estado; além disso, é uma área carente de estudos sobre a eletroquímica dos solos.

O sistema de manejo do solo mais comumente utilizado no cerrado piauiense é o plantio convencional (PC), porém o sistema de plantio direto (PD) vem se expandindo a cerca de 10 anos. Assim, foram selecionados talhões com diferentes tempos de uso com sistemas de PC e PD, nas fazendas Colorado e Marafon. A tabela 1 apresenta o histórico de uso dos solos das áreas estudadas e a localização geográfica.

**Tabela 1:** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas no cerrado sudoeste piauiense.

Sistemas de manejo e uso do solo	Histórico
Cerrado nativo (CN)	Vegetação nativa de cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas 09°13' 15,6'' S e 44°47' 07,1'' W Gr.
Plantio convencional de 2 anos (PC2)	A área foi desmatada em 2012, no ano de 2013 foi aplicado 8 toneladas de calcário dolomítico, aplicação foi feita em duas etapas (4 toneladas e incorporadas com grade 32'' + 4 toneladas e incorporadas com grade 32''), mais 800 kg de gesso agrícola e incorporado com grade niveladora. No ano agrícola 13/14 foram usados 250 kg/ha de superfosfato triplo (00-43-00), na linha de plantio da soja e 150 kg/ha de KCl distribuídos a lanço antes do plantio da soja. No ano agrícola (2014/2015) foi aplicado 230 kg/há de superfosfato triplo (00.43.00) na linha de plantio mais adubação a lanço e 250 kg/ha da fórmula 00.12.30 +6 % S. Para implantação da cultura da soja .Coordenadas 09°15' 17,7'' S e 44°47' 27,5'' W Gr.

**Plantio convencional de 3 anos (PC3)** A área foi desmatada em 2012. No ano agrícola (2012/2013) foi aplicado 6 t/ha de calcário, 350 Kg/ha de P e 160 Kg/ha de KCl e implantado a cultura da soja. No ano agrícola (2013/2014), foi aplicado 250 Kg/ha de P, 110 Kg/ha de KCl e implantado a cultura de soja. No ano agrícola (2014/2015) foi aplicado 230 kg/há de superfosfato triplo (00.43.00) na linha de plantio da soja mais adubação a lanço antes do plantio e 250 kg/há da fórmula 00-12-30 +6 % S. Para implantação da cultura da soja. Coordenadas 09°16' 30,9'' S e 44°47' 17,3'' W Gr.

**Plantio convencional de 15 anos (PC15)** A área foi desmatada em 1999 e gradeada, no ano agrícola (2000/2001) foi aplicado 2 Mg/ha de calcário e implantado a cultura de arroz, em 2001 foi aplicado 2 Mg/ha de calcário e no ano agrícola (2001/2002) implantada a cultura da soja, (2003/2004), em PC. Em 2006 foi introduzido a cultura de soja sob PD, mantendo-se nos anos agrícolas de (2006/2007) e (2007/2008). No ano agrícola (2008/2009), foi adicionado 2 Mg/ha de calcário e subsolador, retornado a semeadura direta no ano (2009/2010) com soja e em (2010/2011) voltou ao PC com soja e milho, em (2011/2012) apenas soja, em (2012/2013) apenas milho e em seguida foi adicionado 2 Mg/ha de calcário sem incorporação, no ano (2013/2014) foi implantado soja e milho e (2014/2015) apenas milho. A área total é de 83 hectares. Coordenadas 09°16' 38,3'' S e 44°44' 52,8'' W Gr.

**Plantio direto de 10 anos (PD10)** O sistema PD foi implantado em 2005, com soja, utilizando o milho na formação da palhada, após 3 anos foi aplicado 2 toneladas de calcário e plantado milho, seguido de 2 anos de soja e aplicado 2 toneladas de calcário e plantado milho, e seguida plantada soja nos últimos anos, formando os 10 anos de sistema de plantio direto. Coordenadas 09°18' 38,4'' S e 44°45' 54,7'' W Gr.

## 2.2 Caracterização eletroquímica das amostras de solo

As amostragens das áreas foram realizadas nas profundidades de 0 – 10; 10 – 20 e 20 – 30 cm. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições em cinco tratamentos: cerrado nativo (CN), Plantio convencional de 2 anos (PC2), plantio convencional de 3 anos (PC3) plantio convencional de 15 anos (PC15) e plantio direto de 10 anos (PD10).

As análises químicas foram realizadas nos laboratórios de Química Geral e Analítica, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Professora Cinobelina Elvas, na cidade de Bom Jesus, Piauí. As amostras foram secas ao ar, passadas em

peneiras de 2 mm de diâmetro de malha (TFSA) e caracterizadas quimicamente (Tabela 2) de acordo com Embrapa (2009). O ponto de carga zero (PCZ) e o predomínio de cargas dos solos ( $\Delta\text{pH}$ ) foram calculados através do pH em  $\text{H}_2\text{O}$  e em solução de KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ), na proporção 1:2,5 (v/v) solo:solução. A partir desses valores estimou-se a carga líquida do solo por meio do  $\Delta\text{pH}$  e o PCZ estimado dos colóides, conforme as equações (1 e 2) propostas por Keng e Uehara (1974) e Uehara (1980), respectivamente.

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\text{PCZ} = (2 \times \text{pH}_{\text{KCl}}) - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = \text{pH}_{\text{KCl}} + \Delta\text{pH}$$

O PESN foi determinado segundo metodologia adaptada de Zelazny (1996). Onde foram utilizadas 16 soluções distintas, divididas em 2 grupos com diferentes forças iônicas, 0,005 M e 0,05 M, obtidas a partir da mistura de soluções de NaCl, HCl e NaOH. Adicionou-se 20 mL de cada uma das distintas soluções, em 2 g de TFSA, agitou-se por 4 h e em seguida manteve-se em repouso por 12 h seguida da leitura do pH. Esses valores foram utilizados para plotar um gráfico com duas curvas, referentes às duas forças iônicas, sendo o PESN, o correspondente valor de pH no qual ocorreu a interseção das curvas.

**Tabela 2:** Características químicas do Latossolo Amarelo, submetidos aos sistemas de uso e manejo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm.

Atributos	pH	pH	CO	M.O.	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	T	H+Al	V
	H <sub>2</sub> O	KCl	g/Kg	g/Kg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	%					
<b>T</b>											
<b>0-10 cm</b>											
<b>CN</b>	4,84	3,56	2,51	4,34	0,38	0,07	1,21	0,95	8,01	5,85	11,98
<b>PC2</b>	5,72	4,92	3,03	5,22	0,97	0,35	0,10	3,43	6,55	3,02	54,34
<b>PC3</b>	5,97	5,01	2,95	5,09	1,09	0,20	0,14	2,95	4,67	1,58	63,17
<b>PC15</b>	5,66	4,69	5,36	9,25	1,37	0,50	0,22	4,51	11,21	6,48	40,34
<b>PD10</b>	5,60	4,42	3,47	5,99	1,23	0,50	0,19	3,17	7,93	4,57	41,65
<b>10-20 cm</b>											
<b>CN</b>	4,78	3,85	1,79	3,09	0,06	0,06	1,01	0,24	5,78	4,53	04,29
<b>PC2</b>	5,36	4,45	0,79	1,36	1,11	0,13	0,29	2,37	5,51	2,85	43,14
<b>PC3</b>	5,14	4,04	1,91	3,30	0,78	0,13	0,27	1,49	3,73	1,97	41,02
<b>PC15</b>	4,87	3,80	2,91	5,02	0,81	0,50	0,81	2,11	9,29	6,37	22,83
<b>PD10</b>	5,13	3,94	2,07	3,57	0,65	0,24	0,67	1,52	5,02	2,83	30,23

20-30 cm											
<b>CN</b>	4,79	3,84	2,07	3,58	0,05	0,05	0,89	0,15	6,17	5,13	02,54
<b>PC2</b>	4,84	4,11	1,62	2,80	0,48	0,08	0,57	1,26	4,10	2,27	32,60
<b>PC3</b>	4,95	3,98	1,42	2,46	0,30	0,06	0,30	0,88	3,02	1,84	28,97
<b>PC15</b>	4,63	3,91	1,09	1,89	0,83	0,14	0,80	2,12	8,94	6,02	23,71
<b>PD10</b>	4,87	3,98	1,26	2,18	0,42	0,19	0,67	0,98	4,64	5,13	22,21

O valor do potencial elétrico de superfície ( $\Psi_o$ ) expresso em mV, foi calculado utilizando-se a equação de Nernst simplificada por Raij & Peech (1972) da seguinte forma:  $\Psi_o = 59,1 (\text{PESN} - \text{pH})$ . Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias, nos diferentes manejos e dentro de cada profundidade, comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados de PESN foram submetidos a testes de correlação de Person com os resultados das análises químicas e eletroquímica.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH na camada superficial (Tabela 3) dos solo do cerrado nativo foi relativamente baixo, 4,84 e 3,56 em água e KCl, enquadrando-se na classe de reação como solo fortemente ácido (EMBRAPA, 2006), enquanto que nas áreas manejos o pH na camada superficial variaram de 5,60 a 5,97 em água e de 4,42 a 5,01 em KCl.

**Tabela 3:** Atributos eletroquímicos do Latossolo Amarelo no cerrado piauiense, sob sistemas de manejo em três profundidades.

MANEJO	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	ΔpH	PCZ	PESN	Ψ <sub>o</sub> (mV)
<b>0-10 cm</b>						
CN	4,84 A	3,56 A	-1,28 C	2,27 A	3,62 A	-72,57 C
PC15	5,66 B	4,69 BC	-0,96 AB	3,73 BC	4,96 B	-41,60 AB
PD10	5,60 B	4,42 B	-1,18 BC	3,24 B	4,88 B	-42,78 B
PC2	5,72 B	4,92 C	-0,79 A	4,12 C	5,46 B	-18,91 A
PC3	5,97 B	5,01 C	-0,96 AB	4,05 C	5,22 B	-44,79 B
<b>10-20 cm</b>						
CN	4,78 A	3,85 A	-0,92 A	2,93 A	3,70 A	-64,06 B
PC15	4,87 A	3,80 A	-1,07 A	2,72 A	4,06 A	-47,98 AB
PD10	5,13 AB	3,94 A	-1,18 A	2,75 A	3,96 A	-69,14 B
PC2	5,36 B	4,45 B	-0,90 A	3,55 B	4,78 B	-34,39 A
PC3	5,14 AB	4,04 A	-1,10 A	2,93 A	4,22 AB	-54,84 AB
<b>20-30 cm</b>						
CN	4,79 A	3,84 A	-0,95 A	2,88 A	3,86 A	-55,43 AB
PC15	4,63 A	3,91 A	-0,72 A	3,19 A	4,14 A	-38,29 A
PD10	4,87 A	3,98 A	-0,89 A	3,08 A	3,74 A	-67,25 B
PC2	4,84 A	4,11 A	-0,73 A	3,38 A	3,94 A	-53,19 AB
PC3	4,95 A	3,98 A	-0,96 A	3,01 A	4,08 A	-51,41 AB
CV %	4,41	5,15	16,82	9,64	7,93	26,09

CN = cerrado nativo; PC15 = plantio convencional com 15 anos; PD10 = plantio direto com 10 anos; PC2= plantio convencional com 2 anos; PC3 = plantio convencional com 3 anos; PCZ = ponto de carga zero; ΔpH = delta pH ou carga líquida do solo; pH = potencial hidrogeniônico; PESN: ponto de efeito salino nulo; prof. = profundidade; Letras diferentes, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que os valores de pH foram maiores na camada superficial (0-10 cm) decrescendo com o aumento da profundidade (Tabela 3). Pereira *et al.* (2007), observaram comportamento semelhante ao do presente estudo, onde os maiores valores de pH foram na camada superficial do solo e decrescendo com a profundidade. Este fenômeno pode ser atribuído às características de tamponamento da MO e/ou ao aumento da força iônica da solução do solo, pelo incremento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  na camada superficial (DE MARIA, 1999). De forma contrária Pragana (2011) observou o inverso em um estudo realizado em três perfis de Latossolos Amarelos na Serra do Quilombo, no cerrado piauiense, onde o pH aumentou com a profundidade. Esta condição foi atribuída às condições climáticas da região, pois a precipitação média anual de 1200 mm favorece a lixiviação das bases promovendo a acidez do solo.

As amostras de solo estudadas, independentemente do sistema de manejo e profundidade, apresentaram valores de PCZ inferiores aos do pH do solo, resultando num balanço negativo de cargas. O valor de PCZ calculado para o solo de cerrado nativo foi de 2,27 na camada superficial, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) dos demais tratamentos, apresentando o menor valor de PCZ dentro dos tratamentos estudados. Valor semelhante foi encontrado por Souza (2015), no Cerrado Sudoeste Piauiense, onde o valor do PCZ (1,96) no CN foi menor que os valores encontrados nos demais tratamentos.

De modo geral, Latossolos caracterizados por minerais de cargas variáveis como caulinita, óxidos de ferro e alumínio e matéria orgânica tem PCZ próximo a 4,0 (superfície) e próximo de 5,0 (em profundidade) (MACHADO, 2013). Para os solos estudados, os valores de PCZ estimados ficaram um pouco abaixo do valor citado em literatura.

Comparando-se o CN com os demais tratamentos (PC15, PD10, PC3, PC2), observa-se que o solo com aplicação de calcário apresentou quase o dobro do valor do PCZ do cerrado nativo. Este fato é decorrente, pois a aplicação de carbonato de cálcio no solo (calcário) faz com que a densidade de cargas negativas dos colóides aumente, atraindo eletrostaticamente maior quantidade de ânions próximos à superfície dos colóides, diminuindo a atividade de cargas negativas na solução do solo, elevando o PCZ. Fato também observado por Machado (2013), em um estudo de cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais no Paraná, onde os tratamentos com adubos, corretivos e sais

solúveis, observou-se a tendência de aumento das cargas positivas, com valores de PCZ maiores que o solo natural.

O  $\Delta pH$  foi mantido negativo para todos os sistemas de manejos e dentro das 3 profundidades analisadas, indicando carga líquida negativa, refletindo a natureza caulínica e a pobreza química destes solos (MELO et al., 2006). Quando  $\Delta pH$  é negativo há predominância de cargas negativas, e nesses casos o solo retém mais cátions do que ânions. Quando  $\Delta pH$  é positivo predominam cargas positivas e o solo retém mais ânions do que cátions. O valor de  $\Delta pH$  calculado para o cerrado nativo foi de -1,28, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) dos demais tratamentos, exceto para o PD10, onde na superfície não houve diferença significativa em relação ao CN. Enquanto que na área manejada mais nova apresentou o menor valor de  $\Delta pH$ , indicando aumento das cargas positivas no solo. Os solos dos tratamentos (PC15, PD10, PC3 e PC2) nas demais profundidades não apresentaram diferenças significativas no valor de  $\Delta pH$ .

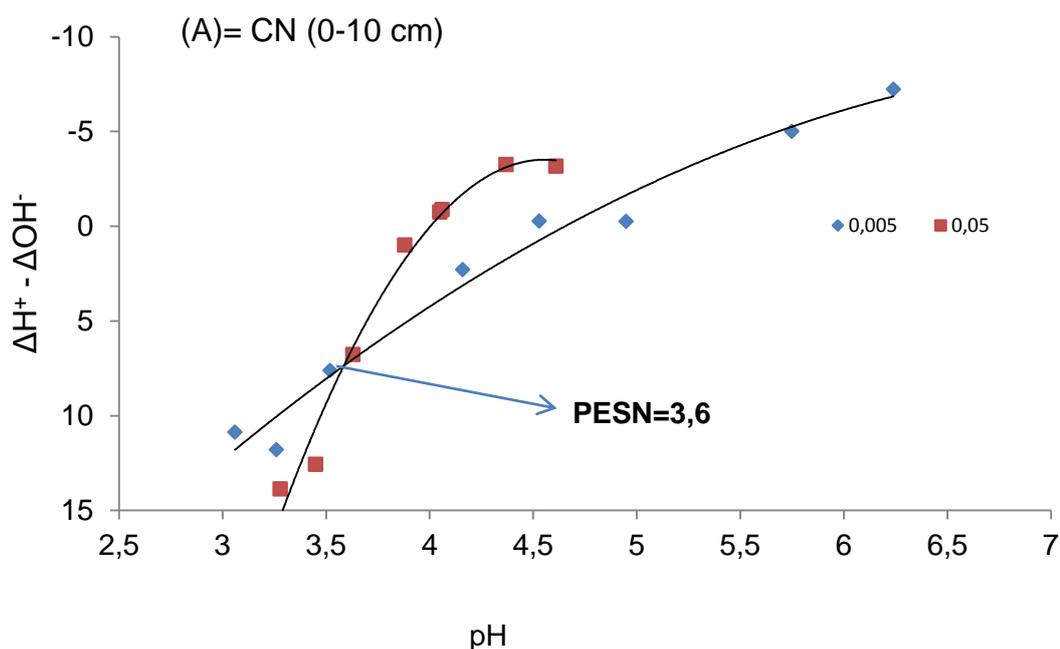
Valores semelhantes de  $\Delta pH$  foram encontrados por Pragana (2011), em três perfis de Latossolos Amarelos, no cerrado piauiense e por Cunha et al. (2014), em 33 solos representativos do Estado de Pernambuco. Além da MOS, a caulinita, argilomineral predominante nesta região (PRAGANA, 2011) e que apresenta PCZ de 4,6 também contribui para valores de  $\Delta pH$  negativos, por equilibrar a tendência de geração de cargas positivas pelos óxidos de Fe e Al, que possuem PCZ de aproximadamente 8,0 e 9,0, respectivamente (SPARKS, 2002).

Carvalho et al. (2007), constatou em um estudo de modificações nas propriedades químicas de um Latossolo em Vilhena – RO, que após a introdução de uso agrícola no cerrado nativo, encontrou-se valores negativos de  $\Delta pH$  em todas as profundidades e condições de manejo, indicando presença predominante de cargas negativas no solo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Siqueira Neto et al. (2010) e Iglesias et al. (2007). Já Dalmolin (2002) encontrou valores de  $\Delta pH$  negativo apenas nos horizontes A de Latossolos no Rio Grande do Sul, sendo que nos demais horizontes, o  $\Delta pH$  foi positivo ou nulo. Soares et al. (2005), também encontraram diferenças entre o  $\Delta pH$  do horizonte superficial e subsuperficial, com redução da carga negativa e presença de  $\Delta pH$  positivo em profundidade.

Em todos os solos das áreas em estudo, os valores de PESN encontrados foram inferiores aos do pH em água, resultando em valores negativos de potencial elétrico ( $\Psi_0$ ). O sinal negativo e a magnitude do  $\Delta pH$  também já indicavam que haveria predominância de cargas negativas. Neste caso a capacidade de troca catiônica (CTC)

dos solos supera a capacidade aniônica (CTA) em condições de pH natural. Resultados semelhantes a estes foram observados por Oliveira et al. (2003) e Fernandes et al. (2008).

O valor de PESN no solo do cerrado nativo foi de 3,62 (Figura 2 A) na camada superficial, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) dos demais tratamentos, apresentando o menor valor de PESN dentro dos tratamentos estudados, provavelmente em decorrência dos maiores teores de MOS esperados para estes manejos e proporcionados pela vegetação nativa de Cerrado. Os valores do PESN do CN variaram com valor médio de 3,62 na superfície a 3,86 subsuperfície unidades de pH, o que se deve possivelmente à redução dos teores de matéria orgânica em profundidade. Entre os tratamentos estudados, somente o CN apresentou o maior valor de PESN nas camadas mais profundas do que na camada superficial. O maior valor de PESN encontrado na subsuperfície foi na camada de 10-20 cm no sistema de plantio convencional de 1 ano (Figura 2 B), o que está de acordo com os menores teores de carbono orgânico (Tabela2).



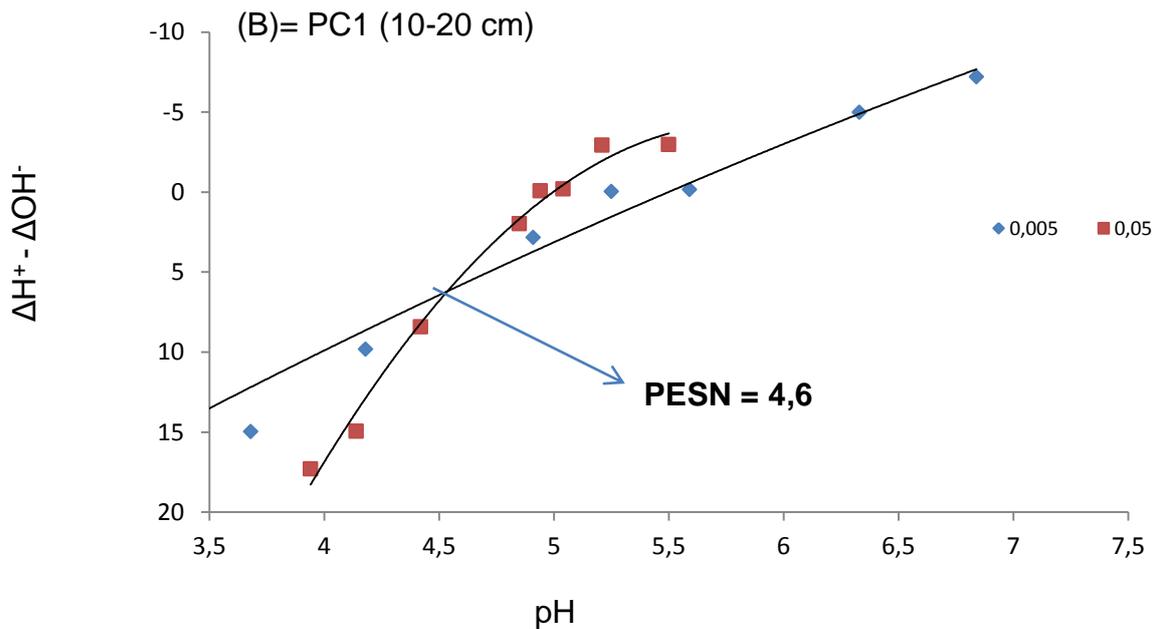


Figura 2: PESN de amostra de Latossolo Amarelo. (A) = cerrado nativo; (B) = plantio convencional de 1 ano.

Os solos estudados, apresentam cargas líquidas negativas nas condições naturais, o que é confirmado pelos valores negativos do  $\Delta pH$  (Tabela 3). O valor de PESN está dentro dos limites obtidos por Magalhães & Page (1984) em Latossolos (entre 3,6 e 4,6), semelhante ao da caulinita (4,6) (Sposito, 1989), e inferior aos da Goethita (6,4) e gibbsita (5,1) (Varadachari & Chattopadhyay, 1997).

Apesar de a literatura relatar correlação significativa e positiva entre PESN e  $\Delta pH$  para solos com elevado grau de intemperismo (FONTES & ALLEONI, 2006), mostrando que, à medida que o  $\Delta pH$  se aproxima de zero ou se torna mais positivo, há influência no aumento do PESN, porém o presente trabalho a correlação entre tais parâmetros na camada superficial (Tabela 4) foi positiva para todos os manejos, mas não significativa, valores semelhantes foram encontrados por Fernandes et al. (2008). Fontes et al. (2001), afirma que estes resultados podem ser atribuídos à diversidade mineralógica dos solos estudados, uma vez que os mesmos, apresentam diferentes materiais de origem (BRASIL, 1972) e ocorrem sob diferentes condições climáticas (BORTOLUZZI et al., 2006) apresentando diferentes graus de intemperismo (SILVA et al., 1996).

**Tabela 4:** Coeficiente de correlação de Pearson ( r ) entre PESN e atributos no solo estudo sob sistemas de manejo

VARIÁVEIS <sup>1</sup>		pH <sub>H2O</sub>	ΔpH	PCZ	COT	CTC
<b>0-10 cm</b>						
CN	PESN	0,029 <sup>ns</sup>	0,924 <sup>*</sup>	0,959 <sup>**</sup>	-0,720 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>
PC15	PESN	-0,425 <sup>ns</sup>	0,971 <sup>**</sup>	0,832 <sup>*</sup>	0,934 <sup>**</sup>	0,637 <sup>ns</sup>
PD10	PESN	0,539 <sup>ns</sup>	0,712 <sup>ns</sup>	0,725 <sup>ns</sup>	0,708 <sup>ns</sup>	0,766 <sup>ns</sup>
PC2	PESN	0,520 <sup>ns</sup>	0,983 <sup>**</sup>	0,932 <sup>*</sup>	-0,957 <sup>**</sup>	0,340 <sup>ns</sup>
PC3	PESN	0,462 <sup>ns</sup>	0,755 <sup>ns</sup>	0,809 <sup>*</sup>	0,242 <sup>ns</sup>	0,639 <sup>ns</sup>
<b>10-20 cm</b>						
CN	PESN	-0,310 <sup>ns</sup>	0,530 <sup>ns</sup>	0,313 <sup>ns</sup>	0,080 <sup>ns</sup>	-0,432 <sup>ns</sup>
PC15	PESN	0,095 <sup>ns</sup>	0,590 <sup>ns</sup>	0,755 <sup>ns</sup>	-0,388 <sup>ns</sup>	-0,545 <sup>ns</sup>
PD10	PESN	0,438 <sup>ns</sup>	0,798 <sup>ns</sup>	0,845 <sup>*</sup>	0,363 <sup>ns</sup>	0,575 <sup>ns</sup>
PC2	PESN	0,978 <sup>**</sup>	-0,837 <sup>*</sup>	0,904 <sup>*</sup>	0,714 <sup>ns</sup>	0,688 <sup>ns</sup>
PC3	PESN	0,604 <sup>ns</sup>	-0,511 <sup>ns</sup>	-0,343 <sup>ns</sup>	-0,280 <sup>ns</sup>	-0,660 <sup>ns</sup>

COT= carbono orgânico total; CTC= capacidade de troca catiônica. <sup>(ns)</sup> não significativo; <sup>(\*\*)</sup> significativo a 1%; <sup>(\*)</sup> significativo a 5%.

O PESN correlacionou-se com o PCZ positivamente para todos os sistemas de manejo estudados e significativamente somente para 4 dos 5 sistemas, exceto para o PD10. Segundo Benites & Mendonça (1998), valores de PCZ próximos aos do PESN são observados apenas em solos altamente intemperizados, cujas cargas elétricas são quase todas dependentes do pH.

Embora os teores de carbono orgânico total (COT) não tenham apresentado correlação significativa com os valores de PESN (Tabela 4) no cerrado nativo, o COT (Tabela 2) certamente contribui para que os valores do de PESN permaneçam na faixa de 3,62 a 3,86, nas camadas superficiais e subsuperficial respectivamente, fato semelhante mostrado no trabalho de Alleoni & Camargo (1994a), onde os mesmos encontraram valores variando de 3,4 a 3,6 e 5,6 a 6,0, respectivamente nas camadas superficial e subsuperficial do solo. Os autores mencionados atribuem essa elevação do PESN em profundidade a redução dos teores de matéria orgânica. A baixa correlação encontrada no presente trabalho deve-se, possivelmente, a diversidade do material d origem e de condições de clima na formação dos solos, fatos este também observado por Silva et al. (1996).

Para todos os sistemas de manejos estudados, somente o PC2 apresentou correlação significativa e negativa entre os valores de PESN e o COT, mostrando que estes valores de PESN variam inversamente com o teor de carbono orgânico (Tabela 4). Estes resultados estão de acordo com a literatura (APPEL et al., 2003; CASAGRANDE, et al., 2004; IGLESIAS et al., 2007), os autores afirmam que a matéria orgânica e, conseqüentemente, o carbono orgânico, tende a diminuir o valor do PESN. Desta forma, o carbono orgânico, proveniente da matéria orgânica, foi, provavelmente, um dos principais responsáveis para que todos os valores de PESN fossem inferiores aos valores de  $pH_{H_2O}$ , corroborando com Alleoni & Camargo (1994a). Segundo Siqueira et al. (1990), a matéria orgânica provoca o abaixamento do PESN, porém, os autores não constataram uma correlação significativa entre o PESN, dos solos por eles estudados, e o conteúdo de matéria orgânica. Isto sugere que o tipo e grau de decomposição da matéria orgânica tem mais efeito, em interações no solo, do que o próprio teor dela (SILVA et al., 1996).

Os valores de PESN não se correlacionaram de forma significativa com a CTC e pH dos solos estudados na camada superficial. Entretanto, o pH na camada de 10-20 cm apresentou correlação significativa positiva para o PC2, manejo no qual foi apresentado os maiores valores de pH e PESN (Tabela 3).

#### **4 – CONCLUSÃO**

As cargas elétricas predominantes no Latossolo Amarelo analisado no Cerrado Piauiense são negativas, possivelmente em decorrência da ação do mineral caulinita e da matéria orgânica.

O PESN foi alterado pelos sistemas de cultivo, sendo mais alto em sistemas de manejo convencional.

O PESN correlacionou-se com o PCZ positivamente para todos os sistemas de manejo estudados e significativamente para 4 dos 5 sistemas, exceto para o PD10.

Os menores valores de PCZ foram encontrados na camada superficial (0-10 cm) nas áreas de Cerrado nativo e plantio direto de 10 anos, decorrentes do maior teor de matéria orgânica esperado para estes manejos.

## 5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. DO P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 415- 424, 2005.

ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J F. M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.29, n.6, p. 963-975, 2005.

ALLEONI, L. R. F. e CAMARGO, O. A. de. 1993. *Ponto de Efeito Salino Nulo Proposição de Nomenclatura*. SBCS. Rio de Janeiro, (Boletim Informativo v 18, n.1).

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Modelos de dupla camada difusa de Gouy-Chapman e Stern aplicados a latossolos átricos paulistas. *Scientia Agrícola*, v. 51, n. 2, p. 315-320, 1994a.

ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. *Química e mineralogia do solo*. 2v. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 68-129.

ALVES, M. E. Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas. 2002. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2002.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 22, n.2, p. 215-221, 1998.

BORTOLUZZI, E. C.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D. S.; JULIEN, J. L. The cation exchange capacity of a sandy soil in southern Brazil: an estimation of permanent and pH-dependent charges. *European Journal of Soil Science*, v. 57, p.356–364, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: MA/SUDENE, 1972. 683p. (Boletim Técnico 15, Série Pedologia, 8).

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, U. Changes of chemical properties in an oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 96, p. 95-102, 2007.

CUNHA, N.R.S.; LIMA, J.E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 46: 291-323, 2008.

DALMOLIN, R. S. D. Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes. 2002. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DE MARIA, I. C.; NABUDE. P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferrasol in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.51, n.1-2, p.71-79, 1999.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p 2 ed.

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*, Mossoró, v.21, n2, p.147-155, 2008.

FONTES, M. P. F.; ALLEONI, L. R. F. Electrochemical attributes and availability of nutrients, toxic elements, and heavy metals in tropical soils. *Scientia Agrícola*, v.63, n.6, p.589-608, 2006.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 3, p.627-646, 2001.

FONTES, M.P. ; CAMARGO, O. A. de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v.58, n.3, p.627-646, jul./set. 2001.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. de C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. e CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.5, p.641-648, 2008.

IGLESIAS, C. S. M.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F. Efeito da natureza do eletrólito e da força iônica na energia livre da reação de adsorção de níquel em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 897-903, 2007.

KENG, J.C.W.; UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. *Proceedings – Soil and Crop Science Society of Florida*, v. 33, p. 119-126, 1974.

MACHAD, A. T. DA S.; BERTAGNA, F. A. B.; SANTOS, P. DOS; FIGUEIREDO R.; SOUZA JUNIOR, I. G. DE; COSTA, A. C. S. DA; Cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar Editora CESUMAR Maringá – Paraná – Brasil.

MAGALHÃES, A.F. & PAGE, A.L. Características das cargas elétricas dos solos da zona da Mata de Pernambuco. IDeterminação das cagas de superfície. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:173-177, 1984.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. R. G. R.; FONTES, L. E. F.; CHAGAS, A. C.; LEMOS JÚNIOR, J. B.; ANDRADE, R. P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 1039-1050, 2006.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. Fundamentos de Química do Solo. 4.ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. p.113-154.

OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B.; JACOMINE, P.K.T. Classificação de solo planossólicos.

PARKER, J.C.; ZELAZNY, L.W.; SAMPATH, S.; HARRIS, W.G. A critical evaluation of the extension of zero point of charge (ZPC). Theory to soil systems. Soil Science Society of America Journal, v. 43, n.4, p. 668 – 673, 1979.

PEREIRA, R.G.; ALBURQUERQUE, A.W.; CUNHA, J. L. X. L.; PAES, R. A.; CAVALCANTE, M. Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo de manejo. Caatinga, Mossoró, v. 22, n. 1, p.78-84, 2009.

PRAGANA, R. B. Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de Solos sob plantio direto na serra do quilombo, sudoeste Piauiense. 2011. 159 f, Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

RAIJ, B; VAN; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Science Society of America, v. 36, p. 587-598, 1972.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. de. Ponto de efeito salino nulo e suas relações com propriedades mineralógicas e químicas de latossolos brasileiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 31, n. 9, p. 663- 671, 1996.

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J. M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. Soil & Tillage Research v. 110, p. 187-195, 2010.

SOARES, M. R.; ALLEONI, L. R. F.; TORRADO, V. P.; COOPER, M. Mineralogy and ion exchange properties of the particle size fractions of some brazilian soils in tropical humid areas. Geoderma, v. 125, p. 355-367, 2005.

SOUZA, JOSÉLIA PAES RIBEIRO DE. Eletroquímica de Latosso Amarelo sob sistemas de manejos no Cerrado piauiense. 2015. 41 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI.

SOUZA, Z. M. & ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 133-139, 2003.

SPARKS, D. L. Environmental soil chemistry. 2 ed. San Diego: Academic Press, 2002. 352p.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico em Latossolo

Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I Theory. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, p. 250-252, 1980.

VARADACHARI, C. & CHATTOPADHYAY, T. Complexation of humic substances with oxides of iron and aluminum. *Soil Sci.*, 162:28-34, 1997.

ZELASNY, L.W.; HE, L. & VANWORMHOUDT, A. Charge analysis of soils and Anion Exchange, In: *Methods of soil analysis*. Madison: SSSA, 1996. V. 5, part3 – Chemical Methods, p.1231-1253