

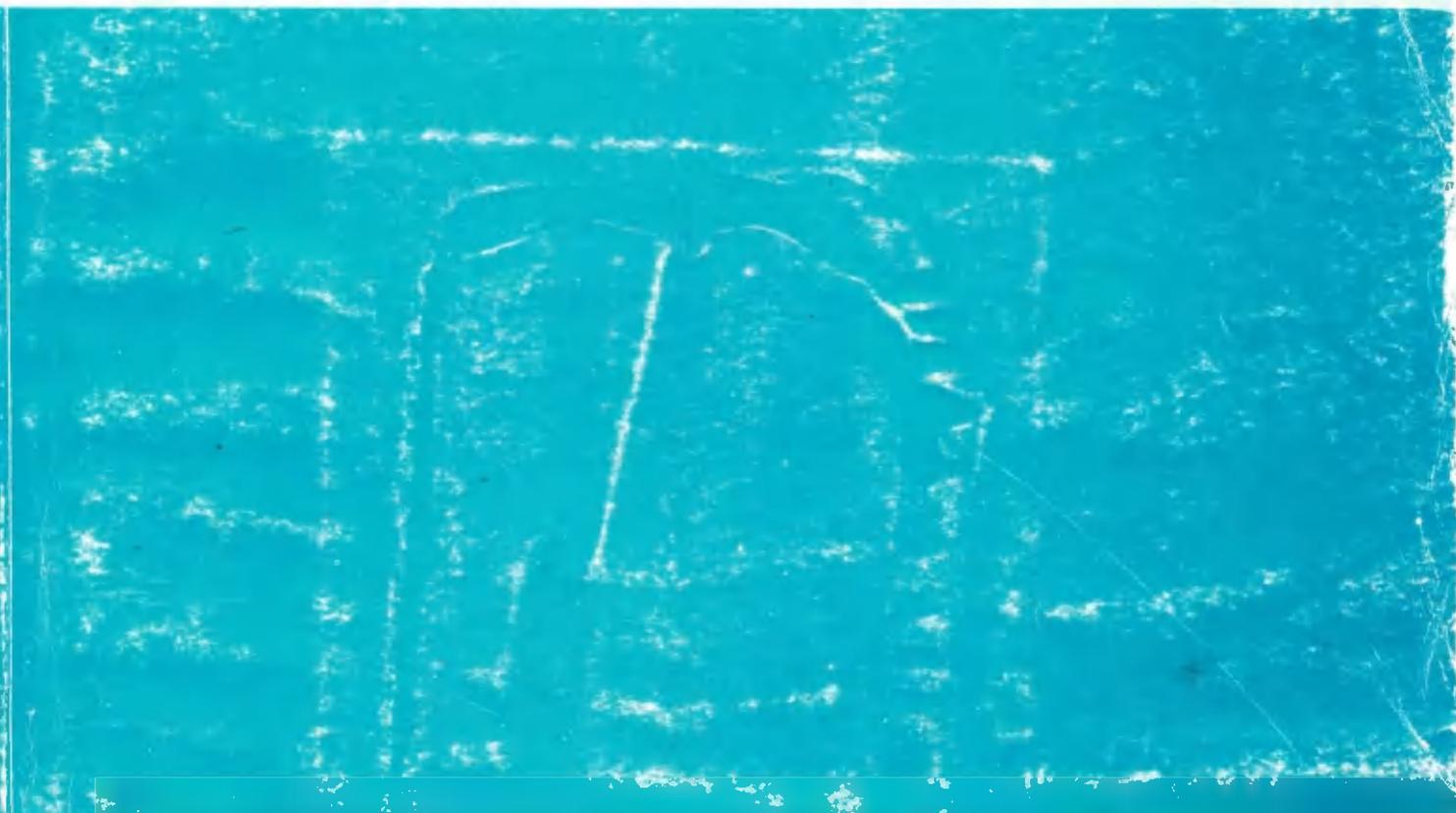


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CAMPUS II

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



EFEITO DA BENTONITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO - HÍDRICAS
E QUÍMICAS DE UM REGOSSOLO DISTRÓFICO

GILVANISE ALVES TITO

CAMPINA GRANDE

AGOSTO - 1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

EFEITO DA BENTONITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO - HÍDRICAS E
QUÍMICAS DE UM REGOSSOLO DISTRÓFICO

POR

GILVANISE ALVES TITO

Engenheira Agrícola

CAMPINA GRANDE - PB

AGOSTO - 1996

**EFEITO DA BENTONITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS
E QUÍMICAS DE UM REGOSSOLO DITRÓFICO**

GILVANISE ALVES TITO

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de mestre em Ciências
(M.Sc.).**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E
DRENAGEM**

ORIENTADORA: Prof.^a LÚCIA HELENA GARÓFALO CHAVES

CAMPINA GRANDE - PB

AGOSTO - 1996

GILVANISE ALVES TITO

EFEITO DA BENTONITA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS E
QUÍMICAS DE UM REGOSSOLO DISTRÓFICO

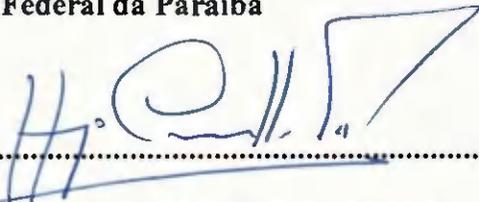
Aprovada em 30 / 08 / 1996.

BANCA EXAMINADORA


.....

Prof. Dra. LÚCIA HELENA G. CHAVES - Orientadora

Universidade Federal da Paraíba


.....

Prof. Ph.D. HUGO O. CARVALLO GUERRA

Universidade Federal da Paraíba


.....

Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA

Universidade Federal da Paraíba

Homenagem especial:

Ao meu querido pai Firmo (in memoriam)

A minha querida mãe Esmeraldina pelo incentivo, apoio e carinho

Aos meus irmãos e sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado o direito de viver e por manter-se sempre presente em todos os momentos de minha vida.

Ao curso de Pós- graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização deste curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro durante o curso.

A Bentonit União Nordeste S/A pela doação das bentonitas utilizadas neste trabalho.

A professora Lúcia Helena Chaves Garófalo, pela orientação, compreensão e amizade.

Ao professor Hugo Orlando Carvallo Guerra, pela orientação, apoio e dedicação durante todo o trabalho.

A professora Norma César de Azevedo, pelo apoio e sugestões apresentadas durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Hans Raj Gheyi e Heber Carlos Ferreira, pelas contribuições e sugestões apresentadas.

Aos pesquisadores da EMBRAPA José Wellington e Amorim Malaquias, pela colaboração.

A Rosemary, Gelmires, José Geraldo e Marcos Firmino pela ajuda prestada.

A Jacqueline Henrique, Ênio Farias de França e a José Roberto Brito Pereira, pela ajuda, amizade, carinho e incentivos.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS): José Wilson, Francisco Alves, Lúcia Cruz, Adilson, José Gomes e Pedro, em especial a Francisco de Assis (Doutor) e José Maria.

Aos colegas de curso, pelos momentos compartilhados durante todo o período.

E a todas as pessoas que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pag
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Fração Argila do Solo	3
2.2. Importância da Argila nas Propriedades do Solo	6
2.2.1 Superfície Específica	6
2.2.2. Grau de Flocculação e Dispersão	9
2.2.3. Retenção de Água	12
2.2.4. Condutividade Hidráulica	16
2.2.5 Capacidade de Troca Catiônica	18
2.2.6. Capacidade de Lixiviação do Solo	21
2.3. Bentonita	23
2.3.1. Características	23
2.3.2. Fontes e Aplicação	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. Solo	27
3.2. Tratamentos	28
3.3. Instalação e Condução do Experimento	31

Cont.		Pag
3.4.	Características do Solo Analisadas	31
3.4.1.	Complexo Sortivo, pH em Água e em KCl, Condutividade Elétrica	32
3.4.2.	Estimativa do Ponto de Carga Zero (PCZ)	32
3.4.3.	Análise Textural e Argila Dispersa em Água	33
3.4.4.	Grau de Floculação	33
3.4.5.	Densidade Real e Aparente	33
3.4.6.	Condutividade Hidráulica	34
3.4.7.	Retenção da Água do Solo, Água Disponível para as Plantas	34
3.5.	Delineamento Experimental	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1.	Efeito das Bentonitas nas Propriedades Físico-Hídricas do Solo	36
4.2.	Efeito das Bentonitas nas Propriedades Químicas do Solo	47
5.	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE	70

LISTA DE QUADROS

	Pag.
QUADRO 1. - Superfície específica de diferentes minerais de argila pura	7
QUADRO 2. - Intervalo de magnitude da condutividade hidráulica	18
QUADRO 3. - Características físicas e químicas da amostra de terra utilizada	28
QUADRO 4. - Características físicas e químicas das bentonitas	30
QUADRO 5. - Valores médios da composição granulométrica e classe textural das amostras de terra, antes da incubação, para as diferentes doses de bentonitas aplicadas	37
QUADRO 6. - Valores médios da densidade global (Dg), densidade das partículas (Dp) e porosidade total (P), antes e após incubação para as diferentes doses de bentonitas aplicadas.	38
QUADRO 7.- Efeitos de diferentes níveis de bentonita na água disponível (AD), condutividade hidráulica (CH), argila dispersa em água e grau de floculação, antes e após a incubação. Médias de três repetições	43
QUADRO 8. - Efeito de diferentes níveis de bentonita no pH em água, pH em KCl, Δ pH, PCZ e afastamento antes e após a incubação.	46
QUADRO 9. - Médias dos resultados analíticos das amostras de terra, antes da incubação, em função das doses de bentonita aplicadas	50
QUADRO 10. - Médias dos resultados analíticos das amostras de terra, após a incubação, em função das doses de bentonita aplicadas	51

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1. - Curva de retenção de umidade	14
FIGURA 2. - Curvas características das amostras de terra referentes as dosagens (0, 1, 2 e 3) com Bravo pulverizada (Bp) e Bravo destorroada (Bd), antes e após a incubação	41
FIGURA 3. - Curvas características das amostras de terra referentes as dosagens (0, 1, 2 e 3) com Primavera pulverizada (Pp) e Primavera destorroada (Pd), antes e após a incubação	42
FIGURA 4. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos valores de pH do solo	49
FIGURA 5. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos valores de condutividade elétrica (CE) do solo	52
FIGURA 6. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos teores de cálcio trocável do solo	54
FIGURA 7. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos teores de magnésio trocável do solo	55
FIGURA 8. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos teores de sódio trocável do solo	56
FIGURA 9. - Efeito das doses crescentes das bentonitas Bravo e Primavera, pulverizadas e destorroadas, antes e depois da incubação, nos valores de CTC do solo	58

RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos de bentonitas nas propriedades físico-hídricas e químicas de um regossolo distrófico, realizou-se em casa de vegetação, um experimento com 4 níveis de bentonita (0, 30, 60 e 90 t /ha) adicionadas ao solo. Foram utilizadas as bentonitas Bravo e Primavera com diferentes granulometrias.

Após a mistura, as amostras de terra foram acondicionadas em vasos plásticos (2 dm³) e mantidas incubadas por 120 dias, com umidade próxima a capacidade de campo. Avaliações físico-hídricas e químicas foram feitas antes e após a incubação. A condutividade hidráulica foi realizada aos 60 e 120 dias.

Nas condições experimentais, como as bentonitas causaram efeitos benéficos nas propriedades analisadas, conclui-se que as mesmas podem ser utilizadas como condicionadoras de regossolo.

ABSTRACT

In order to study the bentonite effects on the physico-chemical and chemical properties of a dystrophic rhodosol, a greenhouse experiment was conducted using four levels of bentonite added to the soil. In these experiments were utilized Bravo and Primavera bentonites with two different particle sizes.

After the mixture, the soil samples were conditioned in 2 liter plastic pots and incubated during 120 days. Physico-chemical and chemical alterations were evaluated before and after the incubation.

Under these experimental conditions the bentonites presented beneficial effects and therefore they can be recommended as a conditioner for the studied rhodosol.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e o progresso tecnológico têm resultado em uma maior demanda de bens de consumo e numa pressão sobre a produtividade e qualidade do ecossistema. Atualmente, devido as pressões sociais que visam conter os desequilíbrios ecológicos provocados pelo descarte de resíduos urbanos e industriais, tem-se desenvolvido pesquisas no sentido de buscar soluções para a utilização econômica desses resíduos. Neste contexto, tem sido investigado a possibilidade do uso agronômico, como material condicionador de solo ou mesmo como fertilizante, de diferentes tipos de resíduos como lixo urbano, lodo de esgoto, resíduo de bauxita, cinza de caldeira, pó de basalto, lodo da indústria de celulose e papel, e outros (Messias & Morais, 1992; Logan & Prezotto, 1992; Ros et al, 1993; Fortes & Campos Neto, 1995; Novelino et al, 1995; Souza et al, 1996). Da mesma forma, tem sido pesquisado como condicionadores de solo, apesar de não serem resíduos, betume e vermiculita expandida (Salati et al, 1980; Choudhury & Faria, 1980).

A bentonita, um argilo-mineral com alta capacidade de troca catiônica e retenção de água, é encontrada em grande quantidade em depósitos no Município de Boa Vista, Município de Campina Grande-PB. Conforme as características físicas e químicas que apresentam é utilizada ou não, na indústria de diferentes produtos. Aquela que não satisfaz as exigências necessárias para a indústria, denominada

regionalmente de “bofe”, tem sido rejeitada e acumulada em grandes montanhas a céu aberto na região, causando um problema ambiental.

O regossolo distrófico é um solo arenoso que apresenta baixa capacidade de retenção de água e baixa capacidade de adsorção de nutrientes. Sua alta permeabilidade acarreta maiores perdas de nutrientes quando comparado a solos de textura fina. Apesar destas limitações, na região do Brejo Paraibano, este solo é intensamente utilizado na agricultura recebendo, anualmente, grandes quantidades de matéria orgânica.

Considerando os problemas atuais do meio ambiente, as limitações dos regossolos e a tentativa de procurar alternativas de uso para o material “bofe”, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar os efeitos deste material nas propriedades físico-hídricas e químicas de um regossolo distrófico.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fração Argila do solo

A fração argila do solo é o conjunto de partículas minerais de diâmetro efetivo inferior a 0,002 mm. É constituída essencialmente por minerais secundários: minerais de argila, óxidos e hidróxidos de alumínio e de ferro, podendo ser incluída na sua parte menos fina, certa proporção de minerais primários (como quartzo, mica, e outros). A fração argila do solo, constituída de colóides eletronegativos, é considerada como a parte ativa do solo, influenciando a retenção e movimento de água no solo e a adsorção e troca de íons, sendo esta última determinante da capacidade nutritiva do solo (Costa, 1985). A análise química da fração argila mostra que seus principais componentes são SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , H_2O , e conforme o tipo de argila, ainda apresentam quantidades variáveis de TiO_2 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O e P_2O_5 (Kiehl, 1979). As argilas são aluminossilicatos hidratados, onde os elementos predominantes alumínio e silício, formam uma estrutura cristalina (Klar, 1988). A estrutura dos minerais de argila é formada por duas unidades básicas, que são os tetraedros de silício e os octaedros de alumínio. O silício e o alumínio das unidades estruturais básicas podem ser substituídos por outros átomos de forma e tamanhos similares, ou seja, no tetraedro de silício, o mesmo pode ser substituído pelo alumínio, e no octaedro de alumínio, o alumínio pode ser substituído por átomos de ferro,

magnésio e outros. Este tipo de substituição é chamada de *substituição isomórfica* (Rose, 1965).

As partículas de argila são laminadas, ou seja, constituídas de camadas de placas ou flocos. Independente de sua forma específica, cada partícula de argila é composta de grande número de unidades estruturais em formas de lâminas. Estas unidades são mantidas em conjunto, em graus variados de intensidade, na dependência do tipo coloidal específico. Com base na distribuição das unidades estruturais, pode-se ter dois tipos de argila. O tipo mais simples, grupo da caulinita, é formado por igual número de camadas de lâminas de alumina e de sílica, por isso, diz-se que este grupo de argila é do tipo 1:1. As duas lâminas de cada unidade cristalográfica são retidas em conjunto, com muita rigidez por ligações hidroxílicas; dessa forma, o reticulado é fixo e, em geral não ocorre expansão, dificultando assim a penetração de cátions e água nas unidades estruturais da micela; razão pela qual a capacidade adsortiva de cátions é reduzida. O outro tipo de argila, conhecida como grupo da esmectita ou montmorilonita, é constituído por duas lâminas de sílica, com uma de alumina, desse modo, diz-se que este grupo de argila é do tipo 2:1. As unidades estruturais são fracamente unidas por ligações oxigênio-oxigênio, promovendo assim uma grande expansão, que facilita a movimentação de cátions e moléculas de água entre as unidades (Brady, 1976).

Em geral, as minúsculas partículas coloidais da argila silicatada possuem carga negativa. Essa carga negativa pode ser originada por substituição isomórfica ou através das faces quebradas e imperfeitas dos cristais, as quais deixam expostas valências negativa permitindo assim a saturação por cátions (Rose, 1965; Raij, 1991). As cargas geradas pela substituição isomórfica não são influenciadas pela reação do meio, assim são denominadas cargas permanentes (Kiehl, 1979). Os minerais de argila silicatados, que apresentam cargas elétricas negativas, atraem os cátions presentes na solução do solo,

ficando portanto, a concentração relativa dos cátions próximo da superfície dos colóides maior do que num ponto mais afastado desta, formando assim, uma dupla camada difusa (DCD) (Raij, 1991; Gheyi, 1992). Várias teorias foram desenvolvidas para explicar a distribuição de íons na partícula da argila, destacando Helmholtz, Gouy-Chapman e Stern. O modelo mais aceitável desta DCD é a camada de Stern, que indica que a dupla camada é formada por uma camada de cátions fortemente adsorvida na superfície de argila (camada de Stern) e uma camada difusa de íons que se difunde rapidamente a partir da superfície da argila (Rose, 1965). Segundo Babcock, (1963), a espessura da DCD é variável, sendo esta variação proporcional à valência do íon (a qual está relacionada ao diâmetro efetivo do íon) e a raiz quadrada da concentração desse íon na solução. Isso significa que o aumento destes, reduz a espessura da DCD. Quanto maior a carga elétrica dos cátions, maior a atração pela argila e quanto menor é o raio do cátion, maiores são as atrações pela argila. Ao contrário dos cátions, os ânions por terem carga negativa, são repelidos pelos colóides do solo, carregados negativamente e sua concentração relativa perto da superfície é igual a zero. Este fenômeno (adsorção negativa) influencia a lixiviação de nutrientes do solo (Rose, 1965). Maior energia de retenção corresponde a menor espessura da DCD, com maior redução da atividade das cargas negativas da superfície das partículas coloidais e consequente aumento da floculação do solo. Um aumento da espessura da DCD, favorece a dispersão do solo (Costa, 1985). Os ânions estão muito difusos devido as forças tenderem a separá-los da micela e como consequência da adsorção negativa, a concentração de ânions na solução extraída da argila será maior que na solução original, agregada a mesma.

2.2. Importância da Argila nas Propriedades do Solo

Os minerais de argila, devido as propriedades intrínsecas descritas, desempenham funções de enorme relevância e interesse nos solos, interferindo nas propriedades físico-hídricas e químicas dos mesmos

2.2.1.- Superfície Específica

A superfície específica é definida como a área total das partículas sólidas por unidade de massa ou volume. Em geral é dada em m^2/g ou m^2/cm^3 (Reichardt, 1985; Hillel, 1970). Na literatura é citada também como área de exposição, área superficial específica, área da superfície específica e superfície específica total (Kiehl, 1979).

Klar (1988), diz que, a grande importância química e física da fração argila reside no fato que, quanto maior a subdivisão, maior a área superficial total por unidade de massa ou volume, ou seja, a superfície específica. Por exemplo, a superfície específica da maior partícula de argila é cerca de 25 vezes maior que a superfície específica da menor partícula de areia (Lopes, 1978). A superfície específica depende também da forma das partículas, isto é, partículas achatadas ou alongadas expõem maior superfície por unidade de volume e massa do que partículas esféricas ou cúbicas. Como as argilas são normalmente laminadas, sua superfície é ainda mais elevada (Baver, 1983). Já para Kiehl (1979) a alta superfície específica das argilas, se deve não apenas à dimensão coloidal de suas partículas, mas também, à exposição de áreas internas, as quais favorece a adsorção de água e de cátions. Este fato é verificado nas argilas montmorilonita e vermiculita. Estas argilas por apresentarem fracas ligações de oxigênio entre suas lâminas, são altamente expansíveis contendo, por isso espaços interplanares ou canalíticos, onde pode se

introduzir ânions ou moléculas orgânicas, desde que seus diâmetros sejam inferiores aos dos vazios desses minerais. A montmorilonita possui em média, uma área interna em torno de dez vezes a sua própria superfície externa. Segundo Rajj (1991), este argilo-mineral apresenta uma superfície em torno de $600 \text{ m}^2/\text{g}$ devido ao fato de se expandir e apresentar superfícies internas. Por isso se diz que são minerais de alta atividade de superfície. No caso das argilas 1:1, devido as mesmas se unirem através dos grupos hidroxílicos, a união entre as micelas é muito forte, ficando, dessa forma, a sua superfície específica restrita apenas às suas faces exteriores. Portanto, essas argilas não são expansíveis e apresentam uma superfície específica entre 5 e $20 \text{ m}^2/\text{g}$ (Baver, 1972).

A superfície específica de um material influencia nas propriedades físicas e químicas do solo como na retenção de água e na capacidade de troca catiônica (Gavande, 1973). Segundo Hillel (1970) além dessas duas, outras propriedades são influenciadas pela superfície específica, como disponibilidade de certos nutrientes, aumento de volume do solo, e algumas propriedades mecânicas, tais como plasticidade e a resistência..

Solos com elevada superfície específica, segundo Kiehl (1979), podem receber fertilizantes em alta escala porque o risco de perdê-los por lixiviação é baixo.

O estudo da estrutura dos minerais de argila mostra que todos os grupos, com exceção das argilas amorfas, têm superfícies planas. O quadro 1 mostra a superfície específica de algumas argilas:

QUADRO 1- Superfície específica de diferentes minerais de argila pura.

Mineral de argila	Superfície específica (m^2/g)
Caulinita	5 - 20
Ilita	100 - 200
Vermiculita	300 - 500
Montmorilonita	700 - 800

Fonte: Baver, 1972.

água do solo e determinada comumente através de tensiômetros, os quais determinam a pressão matricial do solo, gerada pelas forças capilares e de adsorção.

A Soil Science Society of America (1965) conceitua curva de retenção de umidade como “um gráfico que mostra a percentagem de água do solo (em peso ou volume) versus a tensão ou pressão aplicada. Os pontos no gráfico obtêm-se comumente aumentando ou diminuindo a tensão ou pressão aplicada ao solo sobre uma faixa específica”, como mostra a figura 1. Segundo Aragão (1978) as curvas de retenção de água ou curvas características de umidade possuem uma notável importância teórico-prática, em especial para o conhecimento das relações solo-água-plantas, assim como das características físicas do solo. Cada solo possui uma curva de retenção de água, que é uma função das propriedades físico-químicas da fração sólida e do arranjo das partículas. Esta curva define a água disponível do solo para as plantas (Reichardt, 1987).

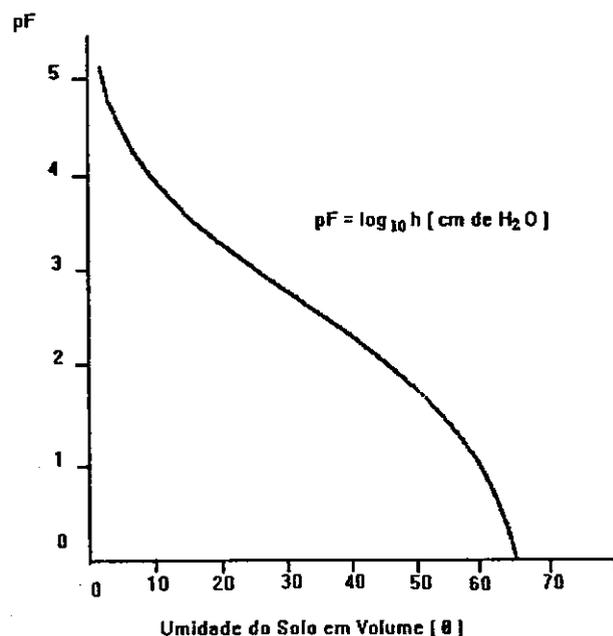


FIGURA 1- Curva de retenção de umidade.

Solos arenosos, com poros predominantemente grandes, necessitam de baixas tensões para retirar a água destes poros. A película de água adsovida nas partículas coloidais é pequena assim, o solo tem baixa capacidade de retenção de água. Solos

argilosos, com alta % de partículas coloidais tem uma grande porosidade e superfície específica elevada, a água do solo é adsorvida fortemente pelas partículas de solo, explicando assim, o alto conteúdo de água retido e altas sucções e grande capacidade de retenção de água. Porém, a natureza das curvas de retenção não varia apenas com a textura do solo, mais também depende da estrutura do solo (Smedema, 1983).

Apesar dos solos de textura mais fina geralmente reterem mais água do que os de textura grosseira, por apresentarem maior superfície específica (Klar, 1989 ; Lopes, 1978), devido a força com que a água é retida naqueles solos, apenas uma parte é disponível às plantas em crescimento. A alta capacidade de retenção de água das argilas é também um resultado do grande número de cargas negativas presentes nessas partículas (Awad et al., 1989).

O tipo de argila também influencia a retenção de água. Argilas do tipo 2:1, como a vermiculita e a montmorilonita e as do tipo 1:1, como a caulinita, possuem propriedades favoráveis e desfavoráveis à retenção de água, respectivamente. De acordo com Nachtigal, et al. (1990), a aplicação no solo de vermiculita aumenta sua capacidade de armazenamento de água e a disponibilidade de água para as plantas. Uma sugestão de Reichardt (1985) para solucionar o problema dos solos de baixa retenção de água é a incorporação de matéria orgânica na forma de estrume, adubo verde, ou de composto. No entanto, o problema é a quantidade a ser aplicada, que geralmente é grande, tornando as operações de transporte e incorporação inviáveis. Reichardt (1987), reforçando a sua opinião anterior, afirma que outro problema da aplicação do adubo orgânico é o seu efeito que é pouco duradouro devido as altas taxas de oxidação da matéria orgânica nas regiões tropicais. Segundo o autor, o uso de condicionadores de solo, como o betume e a vermiculita expandida, para aumentar a retenção de água no solo, tem sido testado há muito tempo, sendo os melhores resultados obtidos em casos de horticultura e fruticultura.

2.2.4 - Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica (K_0), fator de proporcionalidade da equação de Darcy, é um dos parâmetros mais importantes nos projetos de drenagem. Ele expressa, de forma sucinta, a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso e depende, portanto, tanto das propriedades do meio como das propriedades do fluido. Como o solo é um meio poroso, então a condutividade hidráulica depende das suas propriedades geométricas, ou seja, a distribuição, tamanho e a forma de suas partículas, a tortuosidade, a superfície específica, a porosidade (Libardi, 1995; Hillel, 1970) e das propriedades físicas da água, como a densidade e a viscosidade (Hillel, 1970).

Talsma & Flint (1958), correlacionando a condutividade hidráulica com as demais propriedades do solo, observaram que a textura é a propriedade mais importante na determinação da condutividade hidráulica. Para Klar (1988), além da textura, outras variáveis do solo afetam a condutividade, como a estrutura, a porosidade e principalmente o tamanho dos poros, o qual permite aos solos arenosos apresentarem maiores valores de condutividade hidráulica, em condições de saturação, que os de textura mais fina. Carvalho & Azevedo (1975) trabalhando com solo de Bebedouro, observaram que quando o teor de argila aumentava, o valor de condutividade hidráulica decrescia.

Loureiro et al (1990) verificaram que uma textura argilosa, possui baixa macroporosidade e alta microporosidade, conseqüentemente, possui condutividade hidráulica saturada muito baixa. Pinto et al (1980), trabalhando com solo podzólico analisaram 150 amostras não alteradas, das profundidades de 0, 20, 40, 60 e 80 cm e verificaram que a medida em que se aprofundava o perfil do solo, ocorria um decréscimo nos valores médios de condutividade hidráulica saturada. Segundo estes autores, este

comportamento se deve, provavelmente, ao decréscimo da fração areia, associada em geral, a maior presença de silte e de argila em profundidade.

Klute (1965) citado por Loureiro et al. (1991), classificou a areia e o solo orgânico como um material poroso de condutividade hidráulica muito rápida, e o solo mineral como de condutividade hidráulica moderadamente rápida. As alterações na geometria dos poros por efeito da desagregação e transporte das partículas, de expansão das partículas colóidais e mudanças na composição dos íons adsorvidos e da própria solução do solo, provocam modificações nas características do movimento da água no solo (Coelho, 1983). Diversos trabalhos têm mostrado que a alta concentração de determinados íons no solo, a substituição no complexo sortivo de cátions de maior valência por outros de menor valência e o tipo de água de irrigação, afetam o sistema de poros, devido a dispersão de argila do solo, contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica (Yadav & Girdhar, 1981 ; Jensen, 1983 ; Yousaf et al., 1987 ; Chiang et al., 1987 ; Veloso, 1991).

A condutividade hidráulica pode ser determinada por diversos métodos de campo e de laboratório (Ferreira, 1987; Crusciani, 1986; Luthin, 1985). Os métodos de laboratório podem utilizar amostras com estruturas indeformadas ou deformadas, enquanto que nos métodos de campo, a desestruturação do solo é a mínima possível (Libardi, 1995). Otto et al. (1989) obtiveram em laboratório valores médio de K_0 maiores do que os valores obtidos em campo e acreditam que esta diferença deve-se a anisotropia do solo, que em laboratório mediu-se a componente vertical de K_0 , enquanto que em campo, a principal componente de K_0 determinada foi a longitudinal. Os mesmos autores também compararam amostras de solo contraídas com amostras não contraídas e notaram que os valores médios de K_0 foram menores nas amostras contraídas, porque nelas há redução dos macroporos e, conseqüentemente, aumento na microporosidade e na densidade aparente e

redução da porosidade total. O quadro 2, mostra os intervalos de condutividade hidráulica segundo a textura e a estrutura do solo.

QUADRO 2 - Intervalos de magnitude da condutividade hidráulica.

Textura e estrutura	K (m/d)
Areia grossa com cascalho	10 - 50
Franco arenoso; areia fina	1 - 5
Franco, franco argiloso bem estruturado	1 - 3
Franco arenoso muito fino	0,5 - 2
Argila com fendas	0,5 - 2
Areia muito fina	0,2 - 0,5
Franco argiloso; argiloso; mal estruturado	0,02 - 0,2
Argila compacta	< 0,002

Fonte: Beltrán, 1986.

2.2.5 - Capacidade de Troca Catiônica

O processo reversível pelo qual as partículas sólidas do solo adsorvem íons da fase líquida, liberando ao mesmo tempo quantidades equivalentes de outros cátions, estabelecendo assim um equilíbrio entre as fases, é conhecido como troca catiônica (Fassbender, 1980 ; Costa, 1985). A reação de troca catiônica é um fenômeno que ocorre na superfície dos colóides do solo com carga negativa (Chaves & Kinjo, 1988).

Segundo Raij (1988) a troca de íons é uma propriedade importante que permite aos solos reter diversos elementos em forma facilmente acessíveis para as plantas. Isto porque, os cátions trocáveis, embora retidos na superfície das partículas do solo devido as cargas negativas, estão em equilíbrio com cátions em excesso, contidos na solução do solo.

Nos minerais de argila, a seletividade catiônica é controlada tanto pela sua configuração estrutural e densidade de carga do mineral, como também, pelas propriedades dos cátions, como valência, hidratação e tamanho (Volcater et ali, 1968 citado por Chaves, 1984). A facilidade de troca varia ainda com a concentração dos íons trocáveis, com a concentração dos íons adsorvidos pelo argilomineral, com a dimensão dos íons, com a natureza do ânion e outros fatores (Souza Santos, 1975).

Segundo Lopes (1978), o número total de cátions trocáveis que um solo pode reter (a quantidade de sua carga negativa) é chamado de “capacidade de troca catiônica” ou CTC. Esta depende da quantidade e tipo de argila e de matéria orgânica presentes. Embora outros materiais do solo contribuam consideravelmente para a capacidade de troca, os minerais de argila e os colóides orgânicos do solo são os principais responsáveis pela CTC do solo (Costa, 1985). Para Brady (1976), a capacidade de troca catiônica depende também das superfícies externa e interna das partículas, apresentadas pelos minerais de argila expansíveis. De acordo com Aquino et al. (1981), a vermiculita pode proporcionar maior retenção de cátions no solo e fornecer certos elementos, aumentando o teor de nutrientes disponível. Choudhury, (1983), adicionando várias concentrações de vermiculita ao solo, verificaram que houve um aumento linear na capacidade de troca de cátions à medida que adicionavam vermiculita.

Segundo Grim (1968), o fenômeno de troca de cátions nos argilominerais, é explicado por três mecanismos :

a) ligações quebradas nas arestas do Si_2O_5 e falhas de gibsite que compõem o reticulado cristalino. Isto ocorre somente nas superfícies paralelas ao eixo C do mineral;

b) substituições no reticulado cristalino de um íon de baixa valência, tal como Al^{3+} por Si^{4+} na folha tetraédrica ou Mg^{2+} ou Al^{3+} na folha octaédrica. Disto resulta que cargas negativas nas partículas podem ser balanceadas pela adsorção de cátions. Grim (1968), diz

que 80% da capacidade de troca de cátions nas bentonitas são explicadas por tais substituições;

c) o hidrogênio exposto nas hidroxilas podem ser trocados por outros cátions.

Os cátions de troca, quantitativamente mais importantes no solo são cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. A designação de bases de troca é equivalente aos cátions de troca com exceção do alumínio e hidrogênio devido seu comportamento ser bastante diferente quanto à sua influência na reação do solo. Outros cátions também são trocáveis, porém em pequenas quantidades, NH_4^+ , Fe^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} (Costa, 1985).

Morais et al, (1976), citado por Espinoza & Reis (1982), afirmam que as cargas elétricas dos solos são responsáveis pelas propriedades de troca iônica, que, por sua vez, determinam a movimentação dos nutrientes dentro do perfil do solo. Estas cargas elétricas em colóides são classificadas como sendo positivas e negativas. As cargas negativas dos solos podem ser permanentes, que são sempre operantes, pois estão nas estruturas dos minerais, e dependentes de pH, que são efetivas ou não, dependendo do pH do meio (Raij, 1981; Fassbender, 1980). Segundo Raij, (1991), os minerais de argila que têm importante carga permanente são illita, montmorilonita e vermiculita, com valores de capacidade de troca da ordem de 40, 120 e 150 meq./100g, respectivamente. Esta alta capacidade de troca se deve, em parte, à propriedade de expansão que eles apresentam. De acordo com Costa, (1985), a capacidade de troca catiônica dos minerais de argila, de uma maneira geral, é independente do pH quando este for menor que 5. A partir do pH 6 haverá um aumento nas cargas negativas dependentes do pH, fazendo com que a CTC aumente progressivamente, atingindo o máximo para o pH em torno de 10. Fageria (1989),

afirma que a concentração de H^+ determina a magnitude da carga trocável de cátion, que depende do pH e, portanto, afeta a atividade de todos os cátions trocáveis, até certo limite.

Uma das mais importantes propriedades dos minerais de argila e matéria orgânica, quanto à fertilidade, é a adsorção e trocas de cátions, pois, apresentam capacidade de armazenamento de elementos nutritivos para as plantas (Kiehl, 1979). Segundo Sousa Santos (1975), a capacidade de troca catiônica é uma propriedade importante dos argilominerais, visto que os íons permutáveis influem sobre as suas propriedades físico-químicas e tecnológicas.

2.2.6 - Capacidade de Lixiviação do solo

O solo pode perder seus nutrientes por diversos processos: absorção pelas plantas, erosão, volatilização e lixiviação. Raij (1991) acha provável que a lixiviação seja a causa mais importante da perda de nutrientes em solos úmidos, porém, é muito difícil evitá-la. Essa perda de nutrientes tem sido um problema grave que afeta diretamente a capacidade produtiva dos solos, pois, esse nutrientes, que são essenciais às plantas, são levados para fora do alcance das raízes (Gavande, 1973). Parte dos nutrientes colocados no solo, através da adubação, é absorvida pelas culturas ou pode ser perdida por lixiviação. Dessa forma, o nível de nutrientes diminui com o tempo (Vieira et all., 1987). Portanto, a reposição desses nutrientes, através de elementos e compostos químicos, indispensáveis à produção agrícola é de fundamental importância. Segundo Bolton et all (1970) citado por Beltrame et all (1992), o aumento do nível de fertilidade do solo resulta em maiores perdas de nutrientes por lixiviação.

A lixiviação se define como a passagem de água através do perfil do solo que leva junto com as partículas do solo, toda classe de produtos e substâncias solúveis a

água que não estão bem adsorvidos nas partículas do solo. Alguns elementos são muito solúveis na água do solo como os cloretos e sulfatos que se movem tão rápido quanto são produzidos por hidrólise, por isso são mais sensíveis à lixiviação. Outros elementos, como sódio, potássio, magnésio e cálcio podem ficar retidos como cátions trocáveis ou na solução do solo, sendo assim facilmente perdidos (Gavande, 1973). As perdas de fósforo são insignificantes, exceto em solos extremamente arenosos (Sanchez, 1981). Beltrame et al. (1992), estudando a lixiviação de nutrientes num planossol, sob regime de precipitação natural, verificou que ocorrem perdas de cálcio, magnésio e potássio em torno de 82, 60 e 564 kg. ha⁻¹.dia⁻¹, respectivamente. Leite (1985), citado por Beltrame et al. (1992) detectou perdas da ordem de 85,8 ; 22,1 ; 18,2 ; 17,0 ; 5,6 e 0,9 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de cálcio, nitrogênio, magnésio, potássio, ferro e fósforo respectivamente, quando estudou o fenômeno num alfissol cultivado com cacau, sob regime de precipitação natural.

A maioria dos solos apresenta cargas negativas, por essa razão os ânions NO₃, Cl⁻ e SO₄⁻² não são retidos nas partículas do solo, ao contrário, tornam-se possíveis de arrastamento pela águas de percolação. Esses ânions, obedecendo ao princípio da eletroneutralidade, ao se movimentarem pelo perfil do solo, carregam quantidades equivalentes de cátions que, em geral, são Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ ou Na⁺. O ânion que se destaca nos processos de lixiviação e empobrecimento dos solos em nutrientes é o NO₃⁻, por ser o mais abundante no solo (Raij, 1991). Awad et al. (1989) diz que os ânions se encontram, quase que na maioria, na fase líquida do solo e estão mais sujeitos à lixiviação que os cátions.

As propriedades físicas que mais influenciam a lixiviação são a textura, a estrutura e o conteúdo de matéria orgânica, cujos efeitos se refletem principalmente na permeabilidade, agregação, capacidade de retenção de umidade e capacidade de infiltração (Gavande, 1973). De um modo geral, os solos arenosos, por apresentarem baixa

Os métodos para a medição da superfície específica normalmente fazem uso das propriedades de adsorção das superfícies minerais. A equação BET (de Brunauer, Emmett e Teller) tem sido usada para medições da adsorção de nitrogênio em baixas temperaturas (Nelson e Hendricks, citados por Baver, 1972). Este método mede a superfície interna e externa das argilas se, as mesmas não forem submetidas a altas temperaturas antes da adsorção, caso contrário, as camadas interlamelares de tais argilas, se fecham e não permitem a entrada das moléculas de gás, neste caso apenas a superfície externa é medida.

Um método de laboratório usado para calcular as áreas de superfície, baseia-se no princípio da adsorção de moléculas polares nas superfícies dos minerais de argila. Para esta adsorção utiliza-se um líquido polar, que pode ser; a água, o etileno glicol, ou o brometo piridíneo cetil (Quirk, 1955; Dyal e Hendricks, 1950; Bower and Gschwend, 1952; Greenland e Quirk, 1964, citados por Baver, 1972). O princípio desta técnica de adsorção é saturar uma superfície seca com etileno glicol em um dessecador à vácuo ou sobre o anidro CaCl_2 ou uma mistura etileno glicol- CaCl_2 . Quando o peso da mistura, mineral de argila-glicol, atinge um valor constante, a área de superfície é calculada através de uma equação, que considera que para formar uma monocamada de 1m^2 de superfície precisam-se 0,00031 gramas de etileno glicol (Baver, 1972).

Uma técnica mais simples é a de brometo piridíneo cetil (BPC), que envolve a mistura da amostra com soluções do BPC de variadas concentrações, centrifugações e determinação da mudança na concentração do líquido sobrenadante com métodos de absorção com ultra violeta. A camada dupla é obtida na concentração com a maior absorção. Este método pode não medir com precisão as superfícies das argilas do tipo estrutura expansível ou aquelas com uma baixa densidade de carga (Baver, 1972).

O azul de metileno é um corante catiônico que, segundo Hang e Brindley (1970), citados por Chen et al., (1974), pode interagir através de troca de cátions e de adsorção. O cátion do azul de metileno pode trocar com os cátions das argilas. Esta troca é uma reação preferencial que fixa o cátion de azul de metileno à superfície dos argilo-minerais (Worrall, 1958, citados por Chen et al., 1974). Após a mesma acontecer, a solução fica límpida e incolor e as argilas tomam a cor azul, ocorrendo o mecanismo de absorção. O mecanismo de adsorção apresenta-se de duas maneiras; adsorção física, que é baseada na força de atração de Van der Waals, e a adsorção química que é baseada nas ligações de hidrogênio.

Um outro método é o de adsorção de gases que utiliza gases como He, N₂ ou O₂, e baseia-se no princípio de Langmuir, que indica que o número de moléculas adsorvidas nos sítios de adsorção e que entram na solução deva ser igual ao número de moléculas adsorvidas da solução durante um tempo dado. Este princípio é associado com a adsorção de uma capa monomolecular.

2.2.2 - Grau de floculação e dispersão

Quando numa solução coloidal partículas de argila interagem, isto é, quando as DCDs que envolvem estas partículas se sobrepõem, dependendo das condições físicas e químicas do solo, podem atuar tanto as forças de atração como de repulsão. A força repulsiva diminui exponencialmente com o aumento da distância entre as partículas. Ao contrário da força de repulsão, as partículas de argila em suspensão estão sujeitas a uma força de atração chamada de Van der Waals-London (V-L), que atuam a pequenas distâncias e diminuem rapidamente com esta. Se a DCD, em relação ao campo de ação da força V-L, for espessa ($>20 \text{ \AA}$), a força repulsiva dos cátions da DCD irão manter as

partículas de argila distantes ou dispersas. Por outro lado, se a DCD for suficientemente delgada ($< 20 \text{ \AA}$), de tal forma que a distância entre as partículas atinja um valor tal que a força de V-L seja suficientemente forte para vencer a força de repulsão, devido a sobreposição das duplas camadas, as partículas de argila irão flocular. Conclui-se portanto, que, regulando a espessura da dupla camada, pode-se fazer o solo flocular ou dispersar (Kirkhan & Power, 1972 ; Tan, 1982).

Segundo Mitchell (1976) e Uehara (1979), para se obter dispersão das argilas é necessário que o pH do solo encontre-se mais elevado do que o ponto de carga zero (PCZ), definido este como sendo o valor de pH no qual a carga superficial de um sistema reversível de dupla camada é zero, sendo determinado por um valor particular de atividade dos íons determinadores de potencial na fase sólida (Parks & Bruyn, 1962, citados por Alleoni & Canargo, 1993). Porém, apenas a elevação do pH pode não ser suficiente se o ponto de carga zero acompanhar sua elevação. O aumento do pH provocado pela aplicação de carbonato de cálcio no solo, faz com que a densidade de carga negativa dos colóides aumente, e este aumento, conforme a equação de Nerst, é proporcional à diferença entre o PCZ e o pH em água do solo, denominada de afastamento (AFAS) (Rajj & Peech, 1972). Quanto maior o afastamento, em valores absolutos, maior será a carga líquida negativa dos colóides, provocando, dessa maneira, repulsão eletrostática entre eles. Por outro lado, se o pH do solo está próximo ao PCZ, as cargas positivas e negativas igualam-se tornando-se muito fracas as forças de repulsão eletrostática, principalmente com a presença de cátions trivalentes ou concentrações mais altas de eletrólitos que tende a diminuir o potencial por manter muitos íons na camada de Stern (Gjorup, 1992). Estudos realizados por Netto et al (1995), à respeito do efeito da calagem sobre a dispersão de argila de diferentes tipos de solo, mostraram que os solos que mais sofreram dispersão foram aqueles que apresentaram maior afastamento do pH,

após a calagem, em relação ao PCZ. Quando em alguns solos o pH em água e em KCl 1N dão o mesmo valor que o correspondente ao PCZ, tais solos terão baixa afinidades por íons monovalentes como NH_4^+ ou Cl^- e tendência a perdas de fertilizantes por lixiviação podendo ter problemas sérios nesta situação (Butierres, 1980). O PCZ, segundo Raji (1973), é o parâmetro mais importante para a descrição dos fenômenos decorrentes da dupla camada elétrica de interfaces reversíveis. Porém, as medições e definições dos componentes de carga elétrica superficial e PCZ, têm estado em contínuo desenvolvimento tendo aparecido na literatura outros termos relacionados a este assunto, como por exemplo, ponto isoelétrico, ponto zero de titulação, ponto de carga líquida zero, ponto de carga líquida do próton zero e ponto de efeito salino zero (Alleoni & Camargo, 1993; Peixoto et al, 1995). Atualmente, a preocupação no meio científico está voltada para a necessidade de padronizar a nomenclatura e procedimentos experimentais a fim de facilitar a comparação de resultados entre trabalhos diferentes. Tradicionalmente, o PCZ é determinado por titulação potenciométrica (Raji & Peech, 1972), porém por ser um método laborioso, algumas vezes, utiliza-se estimar o PCZ do solo por um método expedito (indireto) baseado nos resultados de pH em água e pH em KCl 1N (Keng, 1974, citado por Uehara, 1979). Santos et al (1993) comparando os métodos direto e indireto de determinação do valor do PCZ de amostras de 20 solos, observaram um coeficiente de correlação R^2 entre os dois métodos no valor de 0,894, significativo a 0,1% de probabilidade. Estudos realizados por Abrahão et al (1995), comparando os valores de PCZ determinados e estimados para 41 amostras de solo, e utilizando diferentes concentrações de KCl, mostraram correlações significativas entre os dois métodos para as amostras com menor teor de argila e que para os solos estudados, as concentrações de KCl menores ou igual a $0,5 \text{ mol/dm}^3$, foram mais eficientes para estimar o PCZ.

O poder flocculante dos cátions aumenta de acordo com a sequência: mono, di e trivalentes. Assim, para um mesmo efeito flocculante, nessa mesma ordem, as concentrações destes cátions guardam a relação $1 : (1/2)^6 : (1/3)^6$. Isso indica que se necessita de maior quantidade de cátions monovalentes, este, em maior quantidade do que os trivalentes (Werwey & Overbeek, 1948), citados por Koenigs (1961). A forte retenção do íon trivalente corresponde a uma camada dupla delgada e forte neutralização das negativas das partículas colóidais, o que principalmente deve explicar a fraca resistência à flocculação dos sistemas dominados por esses íons (Costa, 1985).

O processo de dispersão apresenta sérias consequências agronômicas, parcialmente devido ao preenchimento de todos os canais e poros com argila dispersa, o que pode impedir seriamente a infiltração subsequente de água e a permuta dos gases entre o solo e o ar. A tendência a dispersão é apresentada mais fortemente pelas argilas cujos cátions trocáveis são predominantemente o sódio (Rose, 1965).

2.2.3 - Retenção de Água

O tamanho, a disposição e a forma das partículas que compõem o solo determinam as características de seus poros onde a água e o ar são retidos (Vieira, 1988).

A retenção de água no solo é uma propriedade intrínseca relacionada com forças superficiais que determinam o nível de energia da água no solo. Richards (1956) citado por Aragão (1978), diz que os valores de retenção de água no solo são dependentes da textura, estrutura, da temperatura e das relações energéticas na interfase sólido-líquido-gás que são influenciados pela composição química do solo.

Dois processos são responsáveis pela retenção de água pelo solo. No primeiro deles, a retenção ocorre nos microporos dos agregados e pode ser ilustrado pelo fenômeno da capilaridade, o qual está sempre associado a uma interfase ar-água. Entretanto o solo não é um simples tubo capilar mas, sim, uma composição irregular de poros e canais formados pelo seus sólidos. Isto evidentemente complica a descrição do estado da água no solo (Libardi, 1995). A capilaridade é usada para se avaliar a tensão superficial que é a principal força atraente na interface ar-água e desenvolve interfaces curvas chamadas de menisco, nas proximidades das partículas (Klar, 1988). A ascensão capilar pode ser expressa pela seguinte relação:

$$h = - 2T \cos \alpha / (R\rho g) \quad (\text{eq. 2.1})$$

onde: T = Tensão superficial (71,9 g/s² - da água a 25°C)

R = Raio do menisco (cm)

ρ = Densidade da água (g/cm³)

g = Aceleração da gravidade. (981 cm/s²)

α = Ângulo formado entre a água e a parede do tubo capilar.

O segundo processo ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filmes presos a ela, pelo chamado processo de adsorção. Incluem as forças de Van der Waals e forças eletrostáticas exercidas sobre a água pelas superfícies colóidais das partículas

Ambas as forças, capilares e de adsorção, unem a água e as partículas do solo formando a matriz do solo e retendo esta água contra a força da gravidade (Smedema, 1983), em outras palavras, o conjunto destas forças possibilitam aos sólidos do solo reter a água e controlar em grau considerável sua movimentação e utilização (Brady, 1976)

Em condições de não saturação, a água do solo, está submetida a uma pressão negativa (menor que a pressão atmosférica) comumente chamada de tensão da

capacidade de retenção de água e de adsorção de nutrientes, possibilitam maiores perdas de nutrientes.

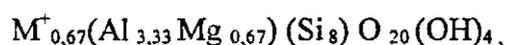
A vermiculita, depois de expandida, apresenta uma alta capacidade de retenção de água, ar e nutrientes transferíveis às plantas (Shahid, 1975 citado por Choudhury & Faria, 1982). Para Bunt (1974) a aplicação de vermiculita em um substrato de areia e turfa, reduz as perdas por lixiviação de nitrogênio, fósforo e potássio.

2.3- Bentonita

2.3.1 -Características

O termo bentonita é empregado para designar o material de argila composto predominantemente de um argilo mineral esmectita, usualmente conhecida como montmorilonita (Ogden & Ruff, 1991). O nome bentonita foi aplicado pela primeira vez em 1898 a uma argila plástica coloidal (Spence, 1924, citado por Souza Santos, 1976), encontrada próximo ao Forte Benton em camadas cretáceas de Wyoming (EUA), que apresenta a propriedade específica e peculiar de aumentar várias vezes o seu volume inicial se umedecida com água, e ela forma gels tixotrópicos com água, mesmo quando a quantidade de bentonita em tais gels é relativamente pequena (Grim, 1968 ; Souza Santos, 1975). Esta bentonita é composta por no mínimo 90 % de montmorilonita ou esmectita e sua capacidade de troca de cátions é da ordem de 80 a 90 meq/100g (Kiminami, 1981). Essas esmectitas são encontradas naturalmente na forma policatiônica cujos cátions trocáveis mais comuns são Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Souza Santos, 1968 citado por Queiroz, 1985).

Em 1926, a bentonita foi definida como sendo uma rocha constituída essencialmente por um argilo-mineral montmorilonítico formado pela desvitrificação e subsequente alteração química de um material vítreo de origem ígnea (Ross & Shannon, 1926, citados por Souza Santos, 1976). Segundo Grim (1968), o componente dominante do mineral de argila é a esmectita, acompanhado particularmente da illita e da caulinita, como também outros minerais não argilosos característicos do material ígneo. A bentonita possui frequentemente uma característica aparência de cera quando escavada ainda fresca. Em exposição ao ar, ela frequentemente desenvolve um característico conjunto “quebra cabeças” de fraturas acompanhando o encolhimento e o secamento. A fórmula teórica da sua célula unitária é apresentada da seguinte forma:



onde M pode ser substituído pelos cátions trocáveis Na^{+} (ou Li^{+}) dando origem a bentonitas sódicas (ou de lítio). Se M é substituído por Ca^{2+} obtem-se bentonitas cálcicas (Kiminami, 1981).

Grim (1968), afirma que variações na composição da esmectita, quer seja na própria estrutura ou na natureza dos cátions trocáveis, resulta em bentonitas diferentes. Existe uma considerável variação no universo das camadas octaedral e tetraedral. Com relação aos cátions trocáveis, a maioria das bentonitas tem o Ca^{++} como o íon mais abundante. Apenas algumas bentonitas apresentam o Na^{+} , H^{+} ou K^{+} como íons dominantes. O Mg^{++} está frequentemente presente como íon trocável em quantidades relativamente pequenas, e este é particularmente o caso quando predomina o Ca^{++} . Segundo Souza Santos (1975), existem dois tipos de bentonitas para uso industrial. O primeiro é a bentonita sódica, que tem como padrão a bentonita dos Estados de Wyoming e de Dakota

do Sul (EUA). O segundo, é a bentonita cálcica, que tem como padrão a bentonita da região do Mississippi (EUA)

2.3.2 - Fontes e Aplicação

Depósitos de argila montmorilonita são encontrados em várias regiões do Brasil, estando um deles localizado no distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, PB. Por meio de sondagem com trado, verificou-se que a reserva medida e deduzida, abrange uma área sedimentar de 214.000 m², com uma espessura média de quatorze metros, perfazendo um volume de 2.989.580 m³ ou aproximadamente, seis milhões de toneladas de argilas montmoriloníticas (Oliveira, 1967, citado por Souza Santos, 1976). A análise mineralógica destas argilas, feitas por Souza Santos (1976), revelou que as argilas são constituídas por misturas de nontronita ou nontronita-beidelita, por illita, caulinita, por camadas mistas illita-montmorilonita e por pequeno teor de quartzo. O teor ponderal de argilo-mineral montmorilonítico (que é de nontronita ou nontronita-beidelita) nas argilas varia entre 55 a 70 %, havendo pois, um teor ponderal de 30 a 45 % de componentes inerentes em relação à fração montmorilonítica.

Através de análise química foi constatado que o argilo-mineral montmorilonítico de Boa Vista é policatiônico, constituído de magnésio, cálcio, sódio e hidroxônio, sendo que, o magnésio e o cálcio contribuem com 50 a 80 % da capacidade total de troca de cátions das argilas que varia de 55 a 70 meq./100g. de argila. O teor de potássio trocável é muito pequeno em comparação com o teor dos outros cátions trocáveis (Souza Santos, 1976). O estudo da bentonita de Boa Vista constatou que ela é do tipo cálcica, porém, é industrialmente transformada em bentonita sódica, através de uma reação

química de dupla troca reversível, com carbonato de sódio (Souza Santos, 1968 ; Prado et al., 1980, citados por Queiroz, 1985).

A bentonita é encontrada em cores diferentes, caracterizando assim sua utilidade para objetivos determinados. Variam na coloração do branco ao cinza, amarelo, verde, azul e preto, mas é talvez, mais frequente amarelo ou de um verde amarela. Frequentemente uma cor amarela desenvolve-se no afloramento intemperizado, o qual pode ter propriedades físicas bastantes diferentes daquelas do material novo. As bentonitas de cores verde, cinza e marron, alcançam maiores preços no mercado por serem as mais procuradas. As de cores amarela e creme, regionalmente chamadas de “bofe”, são menos procuradas e conseqüentemente alcançam preços bem mais baixos no mercado (Souza Santos, 1976).

As bentonitas possuem propriedades únicas e importantes que lhes dão grande valor comercial na descoloração de óleos, como aglomerante de areias de moldagem para fundição, flúidos para perfuração de poços, como agente plastificante e emulsificante em cerâmicas, farmácia e cosmetologia, como agente impermeabilizante de solos e barragens, entre outras. As propriedades individuais das bentonitas variam enormemente, e nem todas elas são adequadas para uso comercial. No entanto, muitas bentonitas possuem propriedades que as tornam adequadas a um uso particular, embora não possam ser usadas inteiramente para outros propósitos. A causa da variação nas propriedades reside fundamentalmente na composição da própria esmectita e no caráter dos íons permutáveis (Grim, 1968).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande - PB.

3.1 Solo

O solo utilizado foi proveniente da região Agreste da Borborema, Estado da Paraíba. Segundo o Levantamento Exploratório-Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba (Brasil, 1972), foi classificado como Regossolo Distrófico.

A amostra de terra utilizada foi coletada à profundidade de 0 - 20 cm, seca ao ar, destorroada e passada em peneira com malha de 2 mm de abertura. Suas características físicas e químicas, apresentadas no quadro 3, foram determinadas segundo metodologia da EMBRAPA (1979), estando as metodologias descritas no item 3.5.

QUADRO 3. Características físicas e químicas da amostra de terra utilizada

Característica	Unidade	Valor
Areia	%	84,16
Silte	%	9,18
Argila	%	6,66
Classificação textural		areia franca
Densidade aparente	g/cm ³	1,54
Densidade real	g/cm ³	2,53
Capacidade de campo (0,1 atm)	%	7,9
Ponto de murcha (15 atm)	%	1,8
C.E.	dS/m	0,19
pH H ₂ O	-	4,63
Al ³⁺	cmol/kg	0,10
Ca ²⁺	cmol/kg	1,08
Mg ²⁺	cmol/kg	0,74
Na ⁺	cmol/kg	0,06
H ⁺	cmol/kg	0,22
K ⁺	cmol/kg	0,17
P assimilável	mg/dm ³	13,9
Matéria orgânica	g/kg	3,9

3.2. Tratamentos

Os tratamentos consistiram de doses crescentes de bentonita 0, 19, 38 e 57g/2kg de terra, obtidos através do produto da densidade aparente e o volume correspondente a camada arável (0 - 20 cm). Estas doses são equivalentes a 0, 30, 60 e 90 t/ha, os quais foram identificados como tratamento 0, 1, 2 e 3, respectivamente.

As bentonitas utilizadas neste trabalho, conhecidas regionalmente por “bofe”, foram coletadas nas jazidas Bravo e Primavera, no Município de Boa Vista - PB.

As amostras das bentonitas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm de abertura. A caracterização física e química apresentada no quadro 4. Para cada uma delas, foi determinada a área específica pelo método de adsorção de azul de metileno descrita por Chen et all. (1974). Para verificar se o tamanho das partículas das bentonitas tem influência no efeito destas no solo, as bentonitas foram passadas em peneiras com malhas de 0,25 e 2 mm de abertura. Para diferenciá-las quanto à jazida e sua granulometria, utilizou-se a nomenclatura:

- Bd (Bravo destorroada): bentonita proveniente da jazida Bravo, passada em peneira com malha de 2 mm de abertura.
- Bp (Bravo pulverizada): bentonita proveniente da jazida Bravo, passada em peneira com malha de 0,25 mm de abertura.
- Pd (Primavera destorroada): bentonita proveniente da jazida Primavera, passada em peneira com malha de 2 mm de abertura.
- Pp (primavera pulverizada): bentonita proveniente da jazida Primavera, passada em peneira com malha de 0,25 mm de abertura.

QUADRO 4. Características físicas e químicas das bentonitas (Bofe).

Características	Bentonitas	
	Bravo	Primavera
Areia , %	0,20	0,92
Silte , %	40,61	36,43
argila , %	59,19	62,65
Classificação textural	argila-siltosa	argilosa
Densidade aparente , g/cm ³	0,59	0,62
Densidade real , g/cm ³	2,20	2,20
Capacidade de campo (0,33 atm) , %	106,10	117,20
Ponto de murcha (15 atm) , %	67,90	76,52
Superfície específica (m ² /g)	156,09	312,17
pH em água (1:2,5)	4,93	7,50
CE (suspensão solo-água), dS/m	3,92	1,98
Ca ²⁺ , cmol _c /kg	6,53	20,20
Mg ²⁺ , cmol _c /kg	35,76	28,43
Na ⁺ , cmol _c /kg	8,22	5,89
K ⁺ , cmol _c /kg	0,10	0,09
H ⁺ , cmol _c /kg	2,29	0,10
Al ³⁺ , cmol _c /kg	0,10	0,10
P assimilável, mg/dm ³	12,3	12,7
Matéria orgânica, g/kg	0,26	0,46

3.3. Instalação e Condução do Experimento

Cada unidade experimental foi constituída de uma amostra de terra de 2 quilogramas, acondicionada em um vaso plástico, com dreno na parte inferior, a qual foi misturada e homogeneizada com as doses de bentonita determinadas por cada tratamento. Visando dar oportunidade a bentonita para interagir com o solo e assim aproveitar de uma melhor forma as características benéficas desta última, as unidades experimentais permaneceram incubadas durante 120 dias, tendo sido mantida a umidade da terra próxima a capacidade de campo, utilizando-se água destilada. A reposição da água perdida neste período, foi feita através da pesagem diária dos vasos, porque segundo Bataglia (1989), este sistema é útil na experimentação com vasos.

Transcorridos 60 e 120 dias do início do experimento, determinou-se em cada unidade experimental, a condutividade hidráulica.

Após o período de incubação, as amostras de terra das unidades experimentais, foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e caracterizadas física e quimicamente, segundo os métodos descritos pela EMBRAPA (1979).

3.4. Características do Solo Analisadas

Para o estudo das possíveis alterações físico-hídricas e químicas do solo, provocadas pelos tratamentos, determinou-se em cada unidade experimental, antes e após a incubação, as seguintes características:

3.4.1. Complexo Sortivo, pH em Água e em KCl, Condutividade Elétrica

Os cátions trocáveis, cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com KCl 1N. Para a extração do sódio e potássio utilizou-se a solução de HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N e para a acidez potencial (H+Al) foi utilizado o acetato de cálcio 1N pH 7,0 (EMBRAPA, 1979). A capacidade de troca catiônica foi estimada a partir desses resultados. O pH foi determinado pela relação 1:2,5 de solo: água e solo: KCl 1N. A condutividade elétrica (CE), foi analisada de acordo com a metodologia recomendada por Richards (1954).

3.4.2. Estimativa do Ponto de Carga Zero (PCZ)

A estimativa do PCZ foi realizada segundo Keng, citado por Uehara (1979), de acordo com a expressão:

$$pH_0 = 2 \text{ pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$$

onde,

pH₀ = ponto de carga zero

pH KCl = pH determinado em KCl 1N

pH H₂O = pH determinado em água

$$q = Q / A.t = - K (\Delta H) / (\Delta X)$$

onde: q = fluxo (cm / min)

Q = volume coletado (cm³)

K = condutividade hidráulica (cm / min)

A = área transversal do solo (cm²)

t = tempo (min)

ΔH = carga hidráulica (cm)

ΔX = altura do solo (cm)

3.4.7. Retenção da Água do Solo, Água Disponível para as Plantas

A retenção de água pelo solo e a água disponível para as plantas foram obtidas a partir da curva característica da água do solo. As curvas características foram determinadas mediante o uso do extrator de Richards com placa de cerâmica, submetidas as tensões de 0,1; 0,33; 1; 5; 10; 15 atm. Os valores de umidades obtidos em unidade de massa foram transformados em unidade volumétrica multiplicando-os pela densidade aparente dos referidos tratamentos. Os valores referentes à capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível foram obtidos através das curvas características de umidades (EMBRAPA, 1979).

3.4.3. Análise Textural e Argila Dispersa em Água.

Na análise textural, utilizou-se o método de Bouyoucos (1951), a dispersão foi efetuada quimicamente (NaOH 0,1 N) e mecanicamente (agitação rápida), ao passo que, na determinação da argila dispersa em água, fez-se uso apenas da dispersão mecânica e de água destilada, utilizando-se o método da pipeta.

3.4.4. Grau de Flocculação

O grau de flocculação foi obtido empiricamente, em função da argila dispersa em água e argila total (EMBRAPA, 1979).

3.4.5. Densidades Real e Aparente

A densidade real foi determinada pelo método do balão volumétrico utilizando-se álcool etílico e a densidade aparente, segundo o método da proveta (EMBRAPA, 1979).

3.4.6. Condutividade Hidráulica

A partir do fluxo coletado a cada minuto e através da equação de Darcy determinou-se a condutividade hidráulica em condição de saturação, mantendo-se constante uma lâmina de 5 cm.

3.5 Delineamento Experimental

O experimento foi montado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com 16 tratamentos (quatro níveis de bentonita, duas fontes, Bravo e Primavera, e duas granulometrias) e 3 repetições. O trabalho como um todo, consistiu de 48 unidades experimentais, correspondentes às testemunhas e as doses 1, 2 e 3.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Efeito das Bentonitas nas Propriedades Físico-Hídricas do Solo

A composição granulométrica e a classificação textural dos solos sob os diferentes tratamentos são apresentados no quadro 5. Os resultados mostram que, embora a percentagem de argila do solo tenha aumentado com as doses de bentonita aplicadas, a classificação textural do solo, areia franca, não mudou. Observa-se também que a análise físico-mecânica (textural) não diferencia entre argila destorroada e pulverizada, classificando toda como argila, partículas menores de 2μ .

Os resultados apresentados no quadro 6, mostram que na comparação entre as médias pelo teste de Tukey, não houve variação dos valores de densidade aparente ou global das amostras de terra antes da incubação. Após a incubação, com exceção da Primavera destorroada, houve uma tendência dos valores de densidade global diminuírem em função do aumento das doses de bentonita, porém tendo havido diferença significativa apenas entre as doses 0 e 3. Logicamente a medida que aumenta a percentagem de argila, aumenta a porosidade total do solo e diminui a densidade global. Em relação a densidade real, observa-se no mesmo quadro, que os valores determinados estão próximos do valor médio recomendado pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo, que é em torno de $2,65 \text{ g/cm}^3$, porém, não variaram em função das doses aplicadas. Quanto a porosidade,

QUADRO 5. Valores médios da composição granulométrica e classe textural das amostras de terra, antes da incubação, para as diferentes doses de bentonita aplicada.

Doses	Argila	Silte	Areia	Classe textural ¹
-----%-----				
Bravo Pulverizada				
0	6,49 b	9,35 a	84,16 a	areia franca
1	7,16 ab	8,02 a	85,49 a	areia franca
2	7,83 ab	8,35 a	83,83 a	areia franca
3	8,50 a	7,35 a	82,83 a	areia-franca
M.G.	7,49	8,35	84,08	
Bravo Destorroadada				
0	6,49 b	9,35 a	84,16 a	areia franca
1	7,84 ab	8,48 a	83,68 a	areia franca
2	9,21 a	8,42 a	82,37 a	areia franca
3	9,50 a	7,73 a	82,76 a	areia franca
M.G.	8,26	8,49	83,24	
Primavera Pulverizada				
0	6,49 b	9,35 a	84,16 a	areia franca
1	9,17 a	7,03 b	83,80 a	areia franca
2	9,32 a	8,94 ab	81,74 b	areia franca
3	9,45 a	9,05 ab	82,40 ab	areia franca
M.G.	8,61	8,59	83,03	
Primavera Destorroadada				
0	6,49 b	9,35 a	84,16 a	areia franca
1	8,51 a	7,38 a	84,11 a	areia franca
2	8,85 a	7,36 a	83,80 a	areia franca
3	9,50 a	7,39 a	83,75 a	areia-franca
M.G.	8,18	7,87	83,95	

1 - Classificação segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos de Norteamérica. Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

M.G. = Média Geral.

QUADRO 6. Valores médios da densidade global (Dg), densidade real (Dr) e porosidade total (P), antes e após a incubação, para as diferentes doses de bentonita aplicadas.

Doses	Dg		Dr	P	
	1	2		1	2
		g/cm ³		%	
Bravo Pulverizada					
0	1,55 a	1,60 a	2,53 a	39 a	35 b
1	1,55 a	1,60 ab	2,52 a	38 a	36 b
2	1,51 a	1,56 ab	2,53 a	40 a	38 ab
3	1,56 a	1,46 b	2,53 a	38 a	42 a
M.G.	1,54	1,56	2,53	39	38
Bravo Destorroadada					
0	1,55 a	1,60 a	2,53 a	39 a	35 a
1	1,54 a	1,62 ab	2,52 a	39 a	35 a
2	1,54 a	1,58 ab	2,46 a	38 a	37 a
3	1,52 a	1,56 b	2,53 a	40 a	38 a
M.G.	1,54	1,60	2,51	39	39
Primavera Pulverizada					
0	1,55 a	1,60 a	2,53 a	39 a	35 b
1	1,56 a	1,61 ab	2,54 a	39 a	36 ab
2	1,55 a	1,59 ab	2,54 a	38 a	37 ab
3	1,56 a	1,54 b	2,53 a	38 a	39a
M.G.	1,55	1,58	2,54	39	37
Primavera Destorroadada					
0	1,55 a	1,60 a	2,53 a	39 a	35 b
1	1,55 a	1,62 a	2,54 a	39 a	36 ab
2	1,56 a	1,60 a	2,52 a	41 a	36 ab
3	1,54 a	1,56 a	2,52 a	40 a	38 a
M.G.	1,55	1,59	2,52	40	36

1 = Antes da incubação ; 2 = Após a incubação

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

M.G. =Média Geral.

pode-se dizer que, após a incubação, houve uma leve tendência da mesma aumentar com as doses de bentonita aplicadas.

As figuras 2 e 3, confeccionadas a partir dos dados apresentados nos quadros 1A e 2A (Apêndice), mostram os efeitos de diferentes concentrações e tipos de bentonita sobre as curvas de retenção de água dos solos, antes e após incubação. Observa-se que ocorreu um aumento da retenção de umidade em função dos teores crescentes de bentonita. Pode-se verificar também que, a pulverizada em geral, retém mais água que a destorroada, com exceção da bentonita Primavera após a incubação. Esses resultados estão de acordo com Klar (1989) e Lopes (1978) que afirmam que, quanto menor as partículas do solo, maior a superfície específica e conseqüentemente maior a retenção de água no solo. Com respeito ao efeito da incubação, aparentemente no início do experimento a retenção de água era maior. Tal fato pode ser atribuído a uma possível perda de material argiloso durante as lixiviações a que o solo foi submetido. Isto foi constatado através da turbidez do lixiviado. Desta forma o solo, após a incubação, com uma menor porcentagem de material argiloso apresentou uma menor retenção de água.

A análise de variância do quadro 3A (Apêndice) mostra que não houve um efeito significativo das fontes de bentonitas nos resultados de água disponível, antes da incubação. Quando se compara as médias pelo teste de Tukey, verifica-se que o incremento das doses de bentonita provocou um aumento na quantidade de água disponível (Quadro 7). De acordo com Awad et al (1989), isto pode ter sido resultado do aumento das cargas negativas das amostras de terra, o que se constata pelo aumento dos valores de ΔpH que é a diferença entre o pH em KCl e o pH em água (Quadro 8). Também isto poderia ser devido à outras propriedades favoráveis à retenção de água que a bentonita apresenta por ser uma argila do tipo 2:1. Ainda analisando o quadro 7, observa-

se que as bentonitas pulverizadas, antes da incubação, proporcionaram maiores valores de água disponível, devido as mesmas apresentarem maior umidade na capacidade de campo e baixa umidade no ponto de murcha permanente (Quadro 1A e 2A, Apêndice). Após a incubação, pela análise de variância (Quadro 3A, Apêndice), observa-se que houve efeito significativo das fontes de bentonita Bravo e Primavera sobre os valores de água disponível. No entanto pela comparação entre as médias do quadro 7, constata-se que ocorreu um aumento da água disponível com o acréscimo das doses de bentonita, porém, as doses 1, 2 e 3 não diferiram entre si. Provavelmente, a perda de argila devido à lixiviação ocorrida, da mesma forma que teria influenciado na diminuição da retenção de água pode ter sido a causa da diminuição da água disponível, das amostras de terra, após incubação. Apesar desta diminuição, as amostras de terra incubadas com bentonitas, em geral, continuaram apresentando valores de água disponível maiores que as testemunhas (Quadro 7).

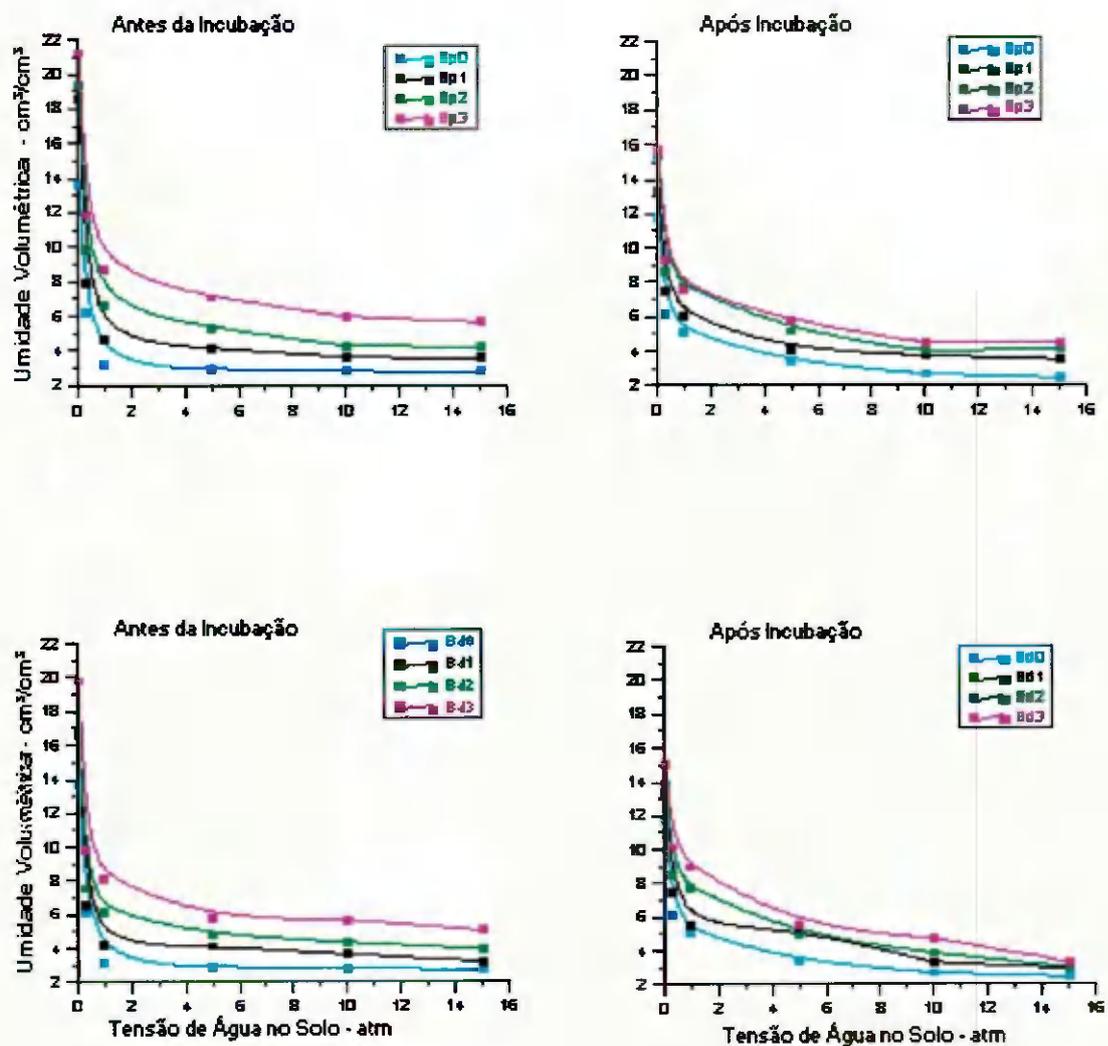


FIGURA 2. Curvas características das amostras de terra referentes as dosagens (0, 1, 2 e 3) com bravo pulverizada (Bp) e bravo destorreada (Bd), antes e após incubação.

cátions no complexo de troca, a DCD se torna espessa aumentando assim, a distância entre os colóides, o que impede que as forças de Van der Waals atuem eficientemente promovendo a floculação.

4.2- Efeito das Bentonitas nas Propriedades Químicas do Solo

A análise de variância (Quadro 4A, Apêndice) mostra que houve efeito altamente significativo das fontes de bentonitas sobre os resultados do pH do solo, determinado em água e em KCl. Porém, a comparação entre as médias pelo teste de Tukey (Quadro 8) permite constatar que houve uma tendência do pH em água aumentar em função das doses crescentes das bentonitas. Em relação a bentonita Bravo pulverizada, a dose 3 foi a que proporcionou significativamente maior resultado de pH em relação as demais doses. Já para Bravo destorroada o maior resultado foi apresentado pela dose 2, porém, não diferiu significativamente dos pH das doses 1 e 3, mas foi superior a testemunha (Quadro 8). A bentonita Primavera por apresentar um valor de pH mais elevado do que a Bravo (Quadro 4) foi a que se destacou no sentido de provocar maior aumento no pH. Ainda com relação a Primavera, o maior valor de pH foi obtido com a dose 3 das duas granulometrias. Provavelmente o aumento do hidrogênio verificado no final do experimento e a possível perda de bases durante a determinação da condutividade hidráulica, fez com que as amostras de terra apresentassem valores de pH inferiores àqueles determinados antes da incubação, que pode ser melhor visualizado através da figura 4.

De acordo com os dados apresentados no quadro 9, observa-se que as amostras de terra que receberam a bentonita Bravo foram a que apresentaram maiores valores de condutividade elétrica (C.E.). Isto provavelmente é decorrente do fato da bentonita Bravo apresentar originalmente maior C.E., que a bentonita Primavera. Os valores de C.E. aumentaram em função das doses crescentes da bentonita Bravo tendo a dose 3, tanto da destorroada como da pulverizada, apresentando maior valor de C.E. No caso da bentonita Primavera com exceção da dose 3 da pulverizada, os valores de C.E. em função das dosagens não diferenciaram entre si. A comparação entre médias pelo teste de Tukey (Quadro 10) mostra que a C.E. não aumentou em função das doses crescentes das bentonitas aplicadas, o que pode ser melhor visualizado através da figura 5. Na mesma figura observa-se que os valores de C.E. nas amostras de terra, após a incubação, diminuíram. Isto pode ser considerado benéfico, uma vez que demonstra ter ocorrido perda de sais solúveis durante a lixiviação evitando, desta forma, que as amostras de terra se tornassem salinas. A proximidade das curvas, após a incubação, sugere que o efeito das bentonitas Bravo e Primavera foi semelhante no que diz respeito a CE.

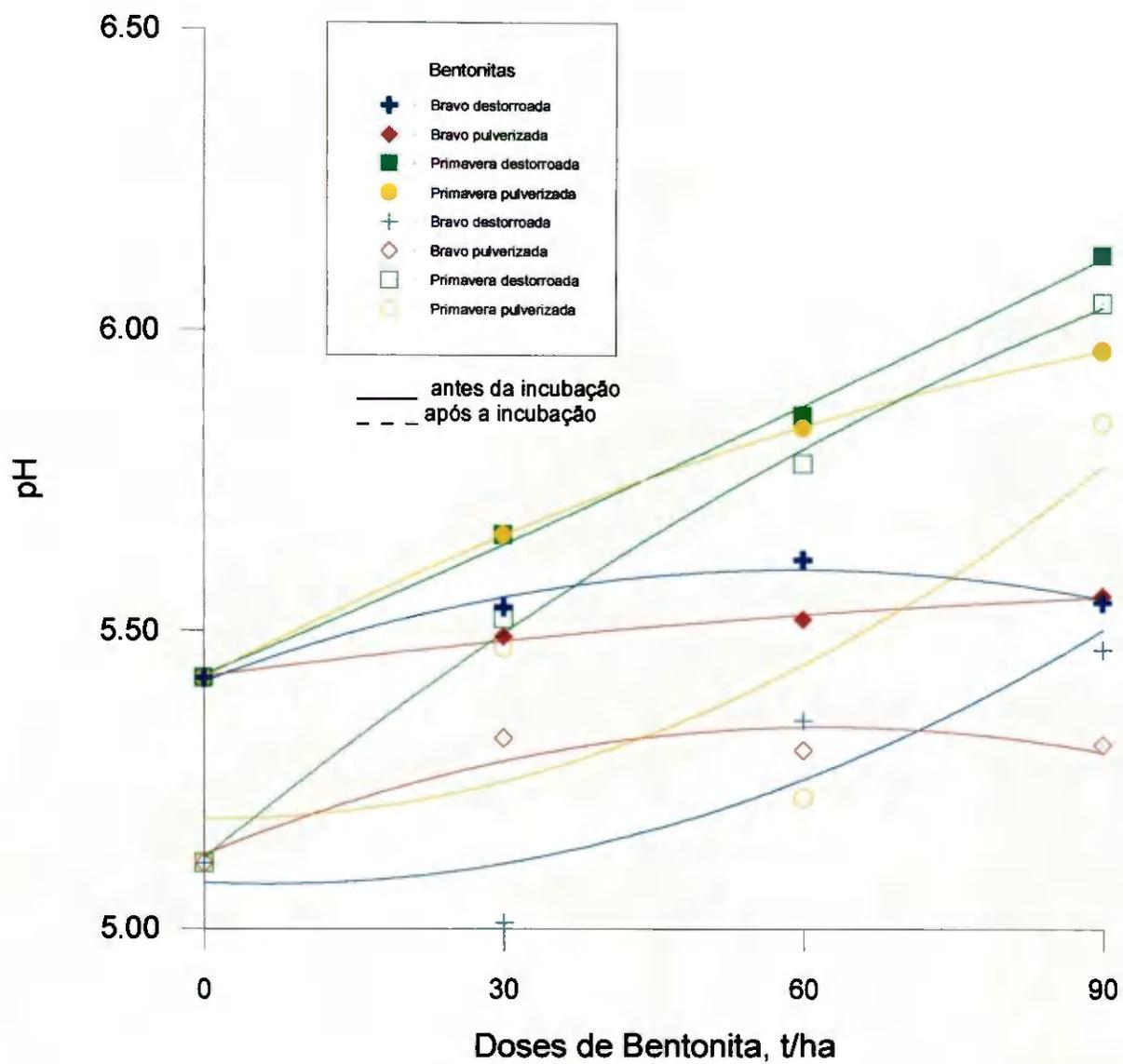


FIGURA 4. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos valores de pH do solo.

QUADRO 9. Médias dos resultados analíticos das amostras de terra, antes da incubação, em função das doses.

Doses	Ca	Mg	K	Na	H	Al	CTC	CE	PST
	----- cmol _c /kg -----						dS/m	%	
Bravo Destorroada									
0	1,08a	0,74b	0,17a	0,06c	0,21a	0,10	2,36c	0,19c	2,54
1	1,00a	1,28ab	0,18a	0,29bc	0,28a	0,10	3,09bc	0,31b	9,35
2	1,09a	1,65a	0,17a	0,83b	0,28a	0,10	4,13b	0,36b	20,10+
3	1,23a	1,94a	0,18a	2,27a	0,43a	0,10	6,15a	0,66a	36,91+
M.G.	1,10	1,40	1,18	0,86	0,30	0,10	3,93	0,38	17,23
Bravo Pulverizada									
0	1,08b	0,74c	0,17a	0,06d	0,21a	0,10	2,36d	0,19d	2,54
1	1,05b	1,43b	0,17a	0,26c	0,35a	0,10	3,37c	0,25c	7,71
2	1,15ab	1,60b	0,17a	0,44b	0,27a	0,10	3,73b	0,31b	11,96
3	1,30a	2,46a	0,18a	0,74a	0,26a	0,10	5,04a	0,44a	14,68
M.G.	1,15	1,56	0,17	0,73	0,27	0,10	3,63	0,30	9,22
Primavera Destorroada									
0	1,08b	0,74c	0,17a	0,06b	0,21a	0,10	2,36d	0,19a	2,54
1	1,13b	1,33bc	0,18a	0,22b	0,23a	0,10	3,29c	0,25a	6,69
2	1,40ab	1,83ab	0,18a	0,38b	0,29a	0,10	4,08b	0,24a	9,09
3	1,73a	2,32a	0,17a	0,96a	0,23a	0,10	5,51a	0,26a	17,39+
M.G.	1,34	1,56	0,18	0,59	0,24	0,10	3,81	0,24	8,93
Primavera Pulverizada									
0	1,08c	0,74d	0,17a	0,06d	0,21a	0,10	2,36	0,19b	2,54
1	1,11bc	0,94c	0,17a	0,22c	0,20a	0,10	2,71b	0,21b	8,12
2	1,28b	1,20b	0,17a	0,33b	0,19a	0,10	3,27ab	0,22b	10,09
3	1,71a	1,80a	0,17a	0,50a	0,06a	0,10	4,35a	0,38a	11,49
M.G.	1,30	1,17	0,17	0,28	0,17	0,10	3,17	0,25	8,06

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

+ amostras classificadas como sódicas.

M.G. = Média Geral.

QUADRO 10. Médias dos resultados analíticos das amostras de terra, após a incubação, em função das doses.

Doses.	Ca	Mg	K	Na	H	Al	CTC	CE	PST
	----- cmol/kg -----						dS/m	%	
Bravo Destorroadada									
0	0,74b	0,39c	0,16ab	0,05c	1,02a	0,10	2,45c	0,07a	2,54
1	0,85ab	0,66bc	0,19a	0,06c	1,05a	0,10	2,90bc	0,10a	2,42
2	0,85ab	0,99b	0,15b	0,12b	1,14a	0,10	3,35b	0,11a	4,30
3	0,97a	1,58a	0,15b	0,20a	1,03a	0,10	4,03a	0,13a	4,06
M.G.	0,85	0,91	0,16	0,11	1,06	0,10	3,18	0,10	3,33
Bravo- Pulverizada									
0	0,74b	0,39d	0,16a	0,05b	1,02b	0,10	2,45d	0,07a	2,54
1	0,81ab	0,68c	0,16a	0,14ab	1,04ab	0,10	2,94c	0,10a	5,80
2	0,83ab	0,97b	0,17a	0,18a	1,11ab	0,10	3,36b	0,10a	6,14
3	0,89ab	1,23a	0,18a	0,20a	1,19a	0,10	3,78a	0,12a	6,06
M.G.	0,82	0,82	0,17	0,17	1,09	0,10	3,13	0,10	5,14
Primavera-Destorroadada									
0	0,74b	0,39c	0,16a	0,05b	1,02a	0,10	2,45c	0,07a	2,54
1	1,01ab	0,94b	0,17a	0,12ab	0,89a	0,10	3,22b	0,10a	4,09
2	1,06ab	1,16b	0,15a	0,13a	0,80a	0,10	3,39b	0,10a	4,09
3	1,38a	1,54a	0,15a	0,18a	0,84a	0,10	4,18a	0,13a	4,80
M.G.	1,05	1,01	0,16	0,12	0,89	0,10	3,31	0,10	3,88
Primavera Pulverizada									
0	0,74c	0,39d	0,16a	0,05c	1,02a	0,10	2,45d	0,07a	2,54
1	0,88bc	0,72c	0,16a	0,06bc	0,94a	0,10	2,86c	0,12a	2,47
2	0,98b	1,00b	0,16a	0,15ab	0,96a	0,10	3,35b	0,12a	5,14
3	1,21a	1,30a	0,16a	0,22a	0,92a	0,10	3,91a	0,11a	6,29
M.G.	0,95	0,85	0,16	0,12	0,96	0,10	3,14	0,11	4,11

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

M.G. = Média Geral.

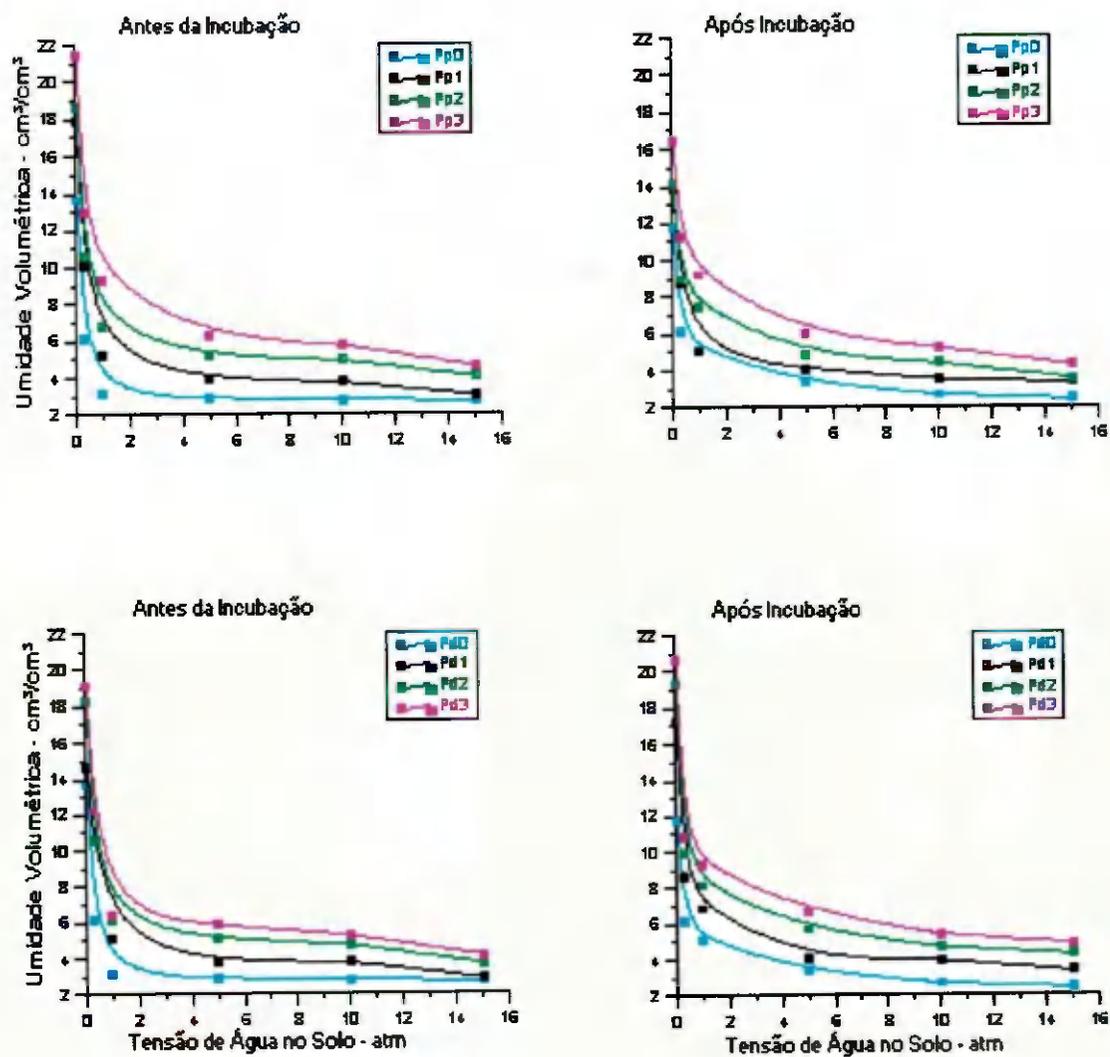


FIGURA 3. Curvas características das amostras de terra referentes as dosagens (0, 1, 2 e 3) com primevera pulverizada (Pp) e primavera destorreda (Pd), antes e após incubação.

QUADRO 7. Efeito de diferentes níveis de bentonita na água disponível (AD), condutividade hidráulica (CH), argila dispersa em água e grau de floculação, antes e após a incubação do solo.

Doses	AD		CH		Argila Dispersa		Grau de Floculação	
	1	2	60 dias	120 dias	1	2	1	2
	-----%-----		-----cm/min-----		-----%-----			
Bravo Pulverizada								
0	10,95b	9,27b	0,20a	0,25a	1,04b	1,42c	83,92a	77,99a
1	14,99ab	9,84ab	0,17b	0,18b	1,21b	1,58bc	82,91a	77,67a
2	15,15ab	11,22a	0,11c	0,13bc	1,61ab	1,75ab	79,05a	77,58a
3	15,67a	11,16a	0,09c	0,09c	1,85a	1,93a	78,09a	77,21a
M.G.	14,19	10,37	0,14	0,16	1,43	1,67	80,99	77,59
Bravo Destorroadada								
0	10,95b	9,27b	0,20a	0,25a	1,04c	1,42a	83,92a	77,99b
1	13,33ab	10,38ab	0,11bc	0,11b	1,35bc	1,20b	82,57a	84,44a
2	12,90ab	10,87ab	0,12b	0,14b	1,53b	1,34a	83,36a	85,40a
3	14,74a	11,68a	0,09c	0,12b	1,93a	1,40a	79,67a	85,21a
M.G.	12,98	10,55	0,13	0,16	1,46	1,34	82,38	83,24
Primavera Pulverizada								
0	10,95b	9,27b	0,20a	0,25a	1,04c	1,42b	83,92ab	77,99c
1	14,82a	10,42ab	0,12b	0,15b	1,31b	1,32c	85,70a	85,62a
2	14,60a	10,54ab	0,11b	0,14bc	1,34b	1,43b	85,60a	84,63ab
3	16,82a	12,16a	0,07c	0,09c	1,46a	1,55a	82,87b	81,89b
M.G.	14,30	10,60	0,13	0,16	1,29	1,43	84,52	82,51
Primavera Destorroadada								
0	10,95b	9,27b	0,20a	0,25a	1,04c	1,42bc	83,92a	77,99c
1	11,77b	13,96a	0,14b	0,18ab	1,27bc	1,32c	84,95a	84,51a
2	14,72a	15,08a	0,10c	0,15b	1,34b	1,45ab	84,80a	83,55ab
3	14,86a	15,74a	0,08c	0,12b	1,88a	1,56a	78,74b	82,34b
M.G.	13,07	13,51	0,13	0,18	1,38	1,44	83,10	82,08

1= antes da incubação; 2= após a incubação.

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

M.G. = Média Geral.

As fontes de bentonita apresentam efeito significativo sobre a condutividade hidráulica determinada sob condições de solo saturado, apenas aos 60 dias de incubação (Quadro 3A, Apêndice). No quadro 7 são apresentadas as médias e suas comparações estatísticas segundo o teste de Tukey. Observa-se que aos 60 dias, de modo geral, ocorreu uma diminuição significativa da condutividade hidráulica com o aumento das doses das bentonitas, independente de suas granulometrias. De acordo com Loureiro et al (1990), quanto maior o teor de argila presente em um solo, menor a sua condutividade hidráulica, devido o aumento da microporosidade. Provavelmente, esta poderia ser uma das explicações da diminuição da condutividade hidráulica observada neste trabalho. Outra explicação poderia estar relacionada com o aumento da argila dispersa no meio, o que pode provocar, segundo Haridasan Chibber (19871), citados por Jucksch (1987), obstrução dos poros, reduzindo assim a permeabilidade do solo. No que diz respeito ao efeito das granulometrias das bentonitas na condutividade hidráulica, pode-se dizer que em geral não houve diferença, tendo em vista que os valores médios de condutividade hidráulica praticamente não variaram. Aos 120 dias verifica-se um pequeno acréscimo nos valores de condutividade hidráulica quando comparados com os valores aos 60 dias (Quadro 7). As análises dos dados parecem indicar que não houve diferença entre os valores de condutividade hidráulica medidas aos 60 e 120 dias revelando assim que o processo de incubação provavelmente não afetou as características de transmissão de água no solo. O pouco tempo de incubação, provavelmente não permitiu qualquer variação na condutividade hidráulica.

Os valores médios de argila dispersa em água são apresentados no quadro 7. Observa-se que o incremento das doses das fontes de bentonitas, em geral, proporcionaram um aumento da argila dispersa. Este fato pode ser explicado tanto pelo aumento do pH em água ocorrido em função das doses de bentonita aplicadas como

também pelo aumento da diferença entre o pH em água e o PCZ, denominado de afastamento (Quadro 8). De acordo com Raij & Peech (1972), Mitchell (1976), Uehara (1979) e Netto et al. (1995), quanto maior o afastamento maior será a carga líquida negativa dos colóides, o que provocará maior repulsão eletrostática, levando-os à dispersão. Outra explicação para esse aumento da argila dispersa deve-se ao fato da elevação do teor de sódio das amostras, provocado pela adição das bentonitas (Quadro 9). Quando comparadas ambas as fontes de bentonitas, a análise de variância mostra o efeito significativo deles sobre os resultados de argila dispersa em água (Quadro 3A, Apêndice).

O quadro 3A (Apêndice) mostra efeito significativo das fontes de bentonita aplicadas, sobre o grau de floculação, tanto antes da incubação quanto após a mesma. No quadro 7 a comparação entre as médias pelo teste de Tukey permite constatar que para a bentonita Bravo praticamente não houve variação do grau de floculação com o acréscimo das doses aplicadas, já no caso da bentonita Primavera, verifica-se uma diminuição dos valores com o aumento das doses, após a incubação. Isto pode ser explicado pelo aumento do afastamento que favorece a dispersão de argila, diminuindo assim a floculação. Em relação a granulometria, as bentonitas Primavera pulverizada e Bravo destorroada foram as que apresentaram maiores valores de grau de floculação, antes e após a incubação, respectivamente (Quadro 7). Ainda no mesmo quadro, verifica-se, que com exceção da Bravo destorroada, em geral, ocorreu uma redução dos valores de grau de floculação após a incubação, quando comparados aos valores anteriores. Este comportamento poderia ser explicado pela provável diminuição da concentração dos cátions trocáveis ocorridos com a lixiviação, pois, segundo Fassbender (1984), citado por Gjorup (1992), a floculação das argilas depende das características da dupla camada difusa (DCD) e dos cátions adsorvidos. Com a diminuição da concentração da solução do solo ou da valência dos

QUADRO 8. Efeito de diferentes níveis de bentonita no pH em água, pH em KCl, Δ pH, PCZ e Afastamento, antes e após a incubação. Média de três repetições

Doses.	pH H ₂ O		pH KCl		- Δ pH		PCZ		Afastamento	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bravo Pulverizada										
0	5,42c	5,11b	5,02a	4,72b	0,40b	0,38c	4,58a	4,34a	0,84b	0,77d
1	5,49b	5,32a	4,98b	4,83a	0,51a	0,49d	4,46ab	4,34a	1,03a	0,98c
2	5,52b	5,30a	4,95b	4,72b	0,57a	0,58b	4,38b	4,14b	1,13a	1,17b
3	5,56a	5,31a	4,99ab	4,59c	0,57a	0,72a	4,42b	3,87c	1,14a	1,44a
Bravo Destorroadada										
0	5,42b	5,11c	5,02a	4,72a	0,40b	0,38d	4,58a	4,34a	0,84b	0,77d
1	5,54ab	5,01d	5,03a	4,54b	0,48ab	0,46c	4,57a	4,08c	0,97ab	0,93c
2	5,62a	5,35b	5,15a	4,77a	0,47ab	0,57b	4,68a	4,20b	0,93ab	1,15b
3	5,55ab	5,47a	5,02a	4,79a	0,52a	0,68a	4,0a	4,11bc	1,05a	1,36a
Primavera Pulverizada										
0	5,42d	5,11c	5,02c	4,72b	0,40b	0,38c	4,61b	4,34ab	0,84b	0,77c
1	5,65c	5,37b	5,10c	4,89b	0,55a	0,48bc	4,55b	4,41ab	1,11a	0,96bc
2	5,85b	5,28bc	5,32b	4,74b	0,55a	0,54b	4,79a	4,20b	1,07a	1,08b
3	6,13a	5,85a	5,52a	5,19a	0,60a	0,66a	4,92a	4,53a	1,21a	1,33a
Primavera Destorroadada										
0	5,42d	5,11d	5,02b	4,72d	0,40d	0,38d	4,61a	4,34b	0,84c	0,77d
1	5,66c	5,52c	5,05ab	5,00c	0,61c	0,51c	4,55ab	4,49ab	1,11c	1,03c
2	5,84b	5,78b	5,06ab	5,20d	0,78b	0,58b	4,28bc	4,62a	1,56b	1,15b
3	6,08a	6,05a	5,09a	5,34a	0,97a	0,71a	4,10c	4,64a	1,98a	1,41a

1 = antes da incubação; 2 = após a incubação.

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada material utilizado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

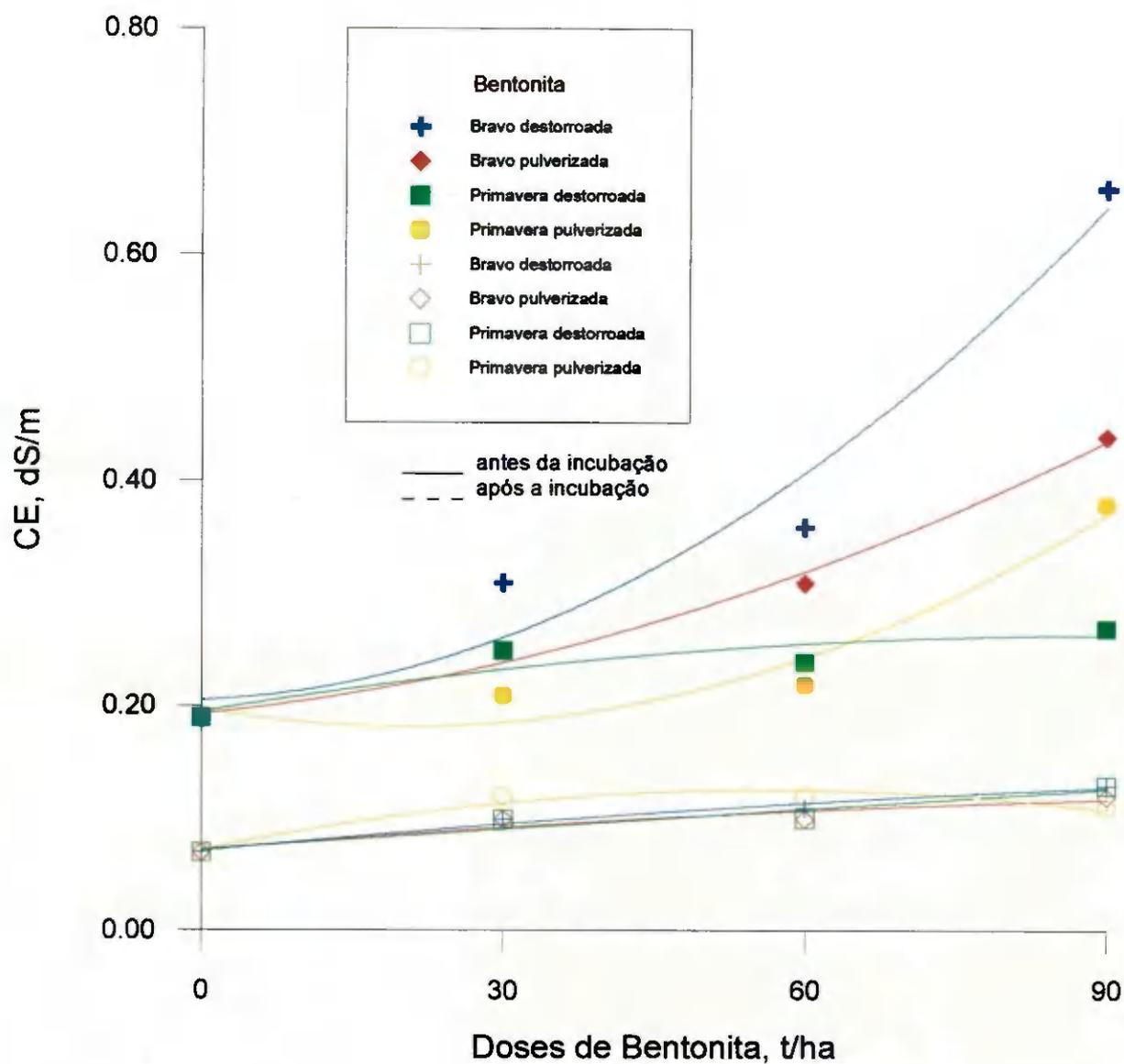


FIGURA 5. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos valores de condutividade elétrica (CE) do solo.

A comparação entre as médias pelo teste de Tukey permite observar que a incorporação das bentonitas Bravo e Primavera nas amostras de terra, provocou um aumento nos teores de magnésio e sódio, e cálcio, magnésio e sódio, respectivamente (Quadro 9), pelo fato destas bentonitas apresentarem altos teores desses elementos (Quadro 4). Ainda em relação a estes cátions, verifica-se que os maiores valores foram obtidos com a dose 3. O mesmo não se observa em relação ao potássio, hidrogênio e alumínio, que permaneceram, praticamente constantes. Os valores de percentagem de sódio trocáveis (PST), independente do tipo de bentonita e das granulometrias, aumentaram em função das doses de bentonita aplicadas, tendo as doses 2 e 3 da Bravo destorroada e dose 3 da Primavera destorroada, causado sodicidade às amostras de terra. A dose 3 da Bravo pulverizada pode ser considerada como ligeiramente sódica (Quadro 9). No quadro 10 observa-se que ocorreu uma redução dos cátions cálcio, magnésio e sódio quando comparados com os valores apresentados no quadro 9. Este fato pode ser melhor observado nas figuras 6, 7 e 8 que mostram que a tendência das curvas foi crescente em função dos tratamentos, embora que os teores de cálcio, magnésio e sódio tenham diminuído após a incubação. Isto ocorreu provavelmente devido o processo de lixiviação que as unidades experimentais foram submetidas. Em relação ao sódio, esta diminuição foi benéfica, principalmente para as amostras de terra que receberam as doses 2 e 3 da Bd e dose 3 da Pd. A princípio, estas doses causaram sodicidade às amostra de terra (Quadro 9.), o que deixou de ocorrer após a incubação, contrariando Chaves, Azevedo & Tito (1993), que trabalharam com sistemas fechados. O fato das curvas, após a incubação, na figura 8, estarem relativamente próximas umas das outras, sugere não ter havido diferença no comportamento do sódio em relação ao tipo de bentonita utilizada.

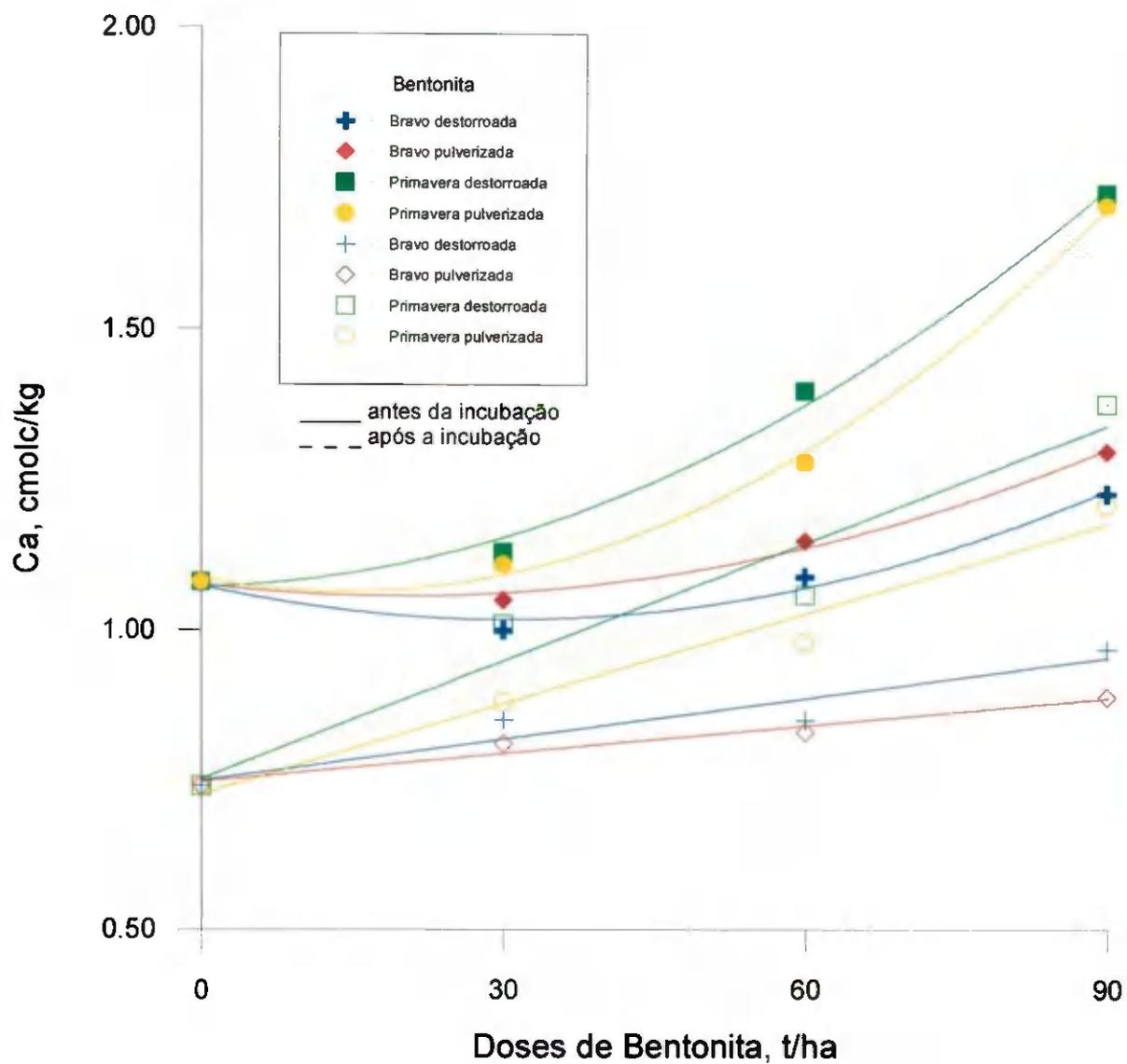


FIGURA 6. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos teores de cálcio trocável do solo.

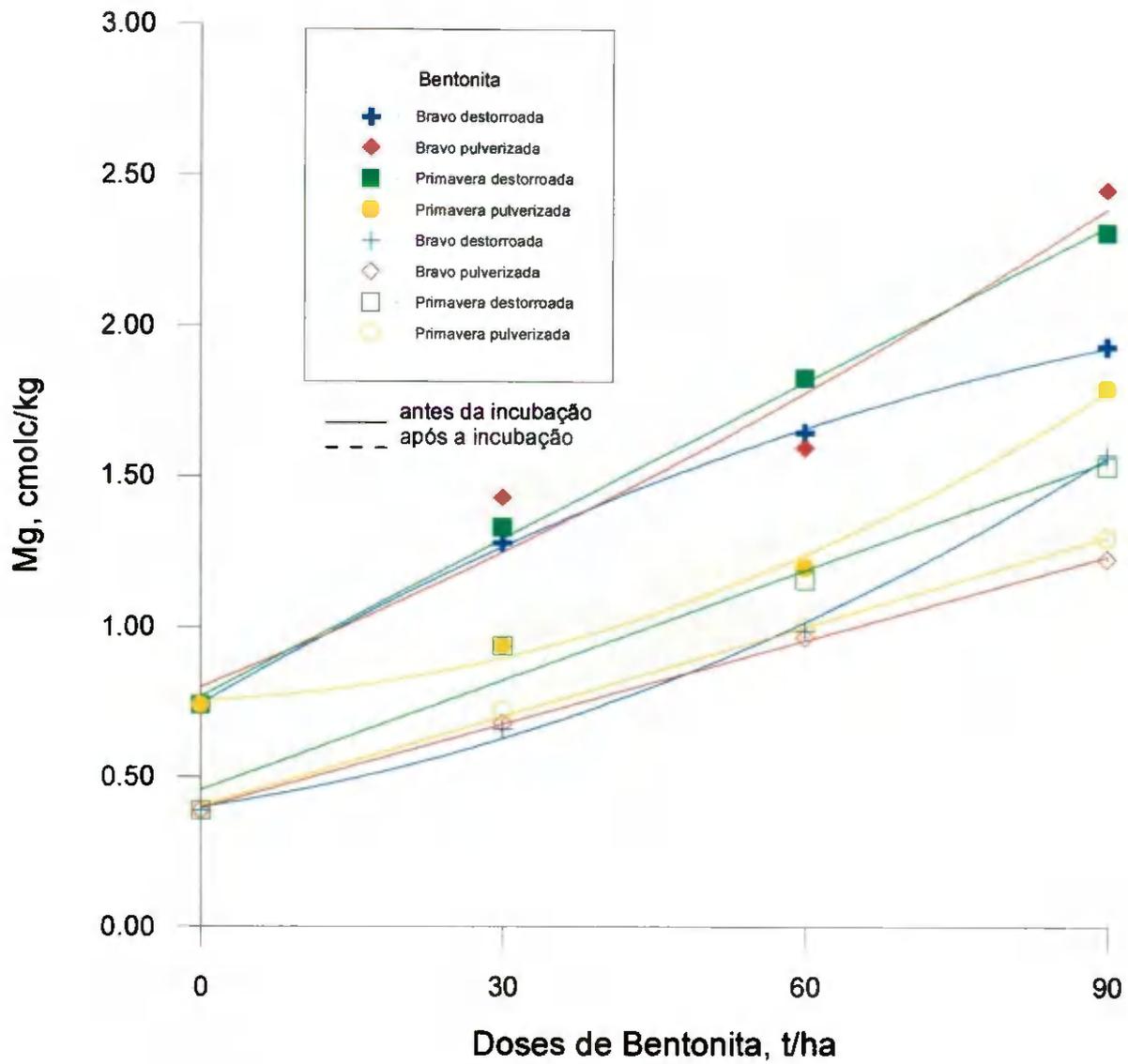


FIGURA 7. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos teores de magnésio trocável do solo.

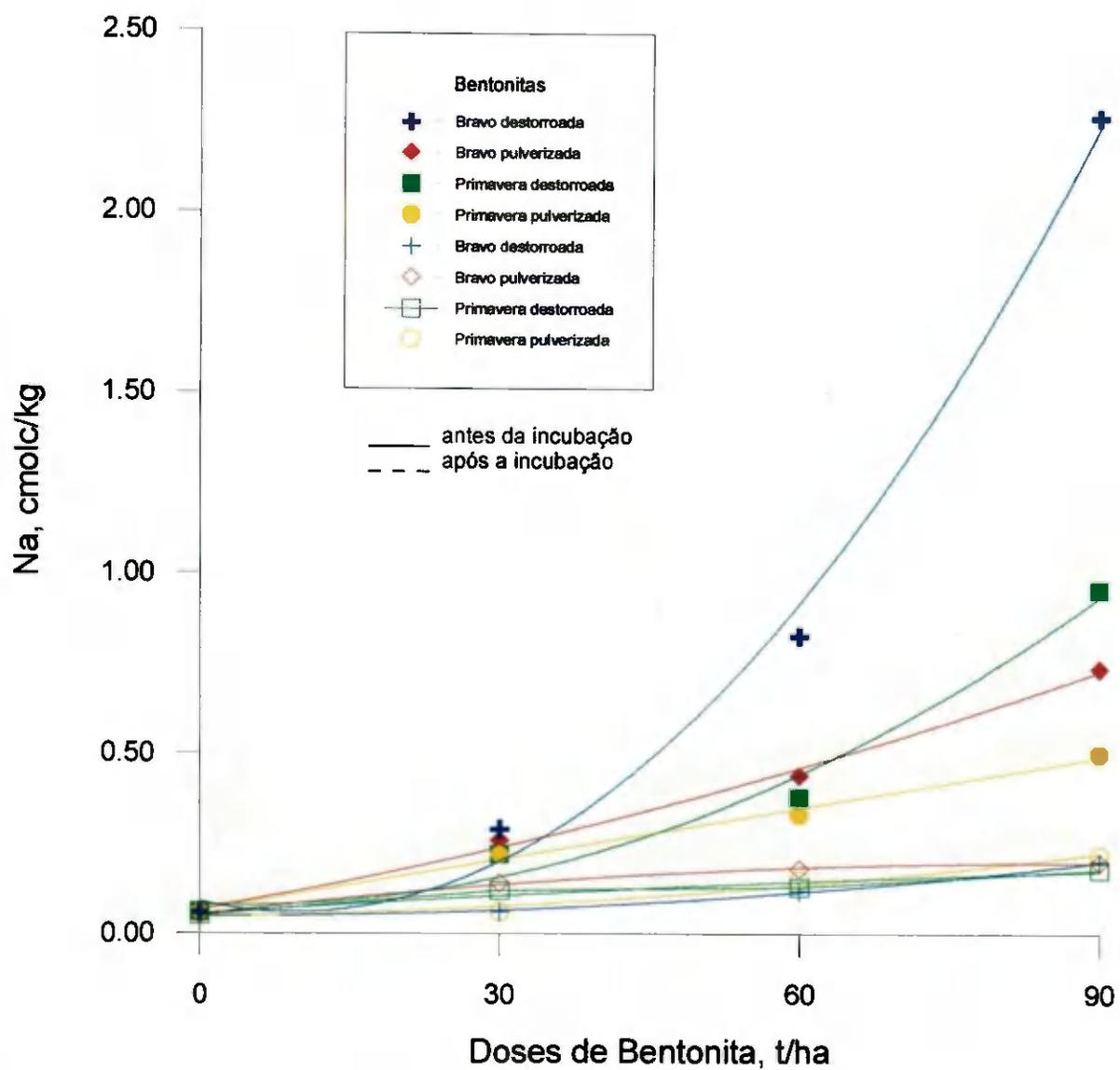


FIGURA 8. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos teores de sódio trocável do solo.

Nos quadros 9 e 10 são apresentados os valores da capacidade de troca catiônica (CTC) das amostras de terra. Como esses valores são calculados com base nos teores dos cátions trocáveis, é normal que sua variação tenha ocorrido da mesma forma que a variação dos teores de Ca, Mg e Na, isto é, aumentaram significativamente em função das doses das bentonitas, tanto antes como após a incubação, tendo apresentado significativamente o maior valor com a dose 3 para todas as situações. O aumento observado pode ser consequência da própria CTC que as bentonitas apresentam ou devido o afastamento ter aumentado, pois de acordo com Uehara e Keng (1975), citados por Butierres (1980), quanto maior o afastamento, maior será a CTC de um solo. Como consequência da provável perda dos cátions trocáveis durante a lixiviação, os valores de CTC das amostras de terra após a incubação, diminuíram (Figura 9), no entanto, permaneceram em níveis acima aos das testemunhas, o que demonstra o efeito benéfico da incorporação das bentonitas no solo.

As equações correspondentes as curvas das figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 estão apresentadas nos quadros 5A, 6A, 7A, 8A, 9A e 10A (Apêndice), respectivamente. As equações de regressão utilizadas apresentaram coeficientes de determinação altos, ou seja, próximos de 1, demonstrando com isto que as variações nas características observadas estão relacionadas significativamente com as doses das bentonitas aplicadas. Apesar de algumas das equações serem do 2º grau, como seus coeficientes quadráticos são valores muito pequenos poderia se dizer que, a variação de certos parâmetros analisados, em relação às doses crescentes das bentonitas ocorre principalmente segundo o efeito linear.

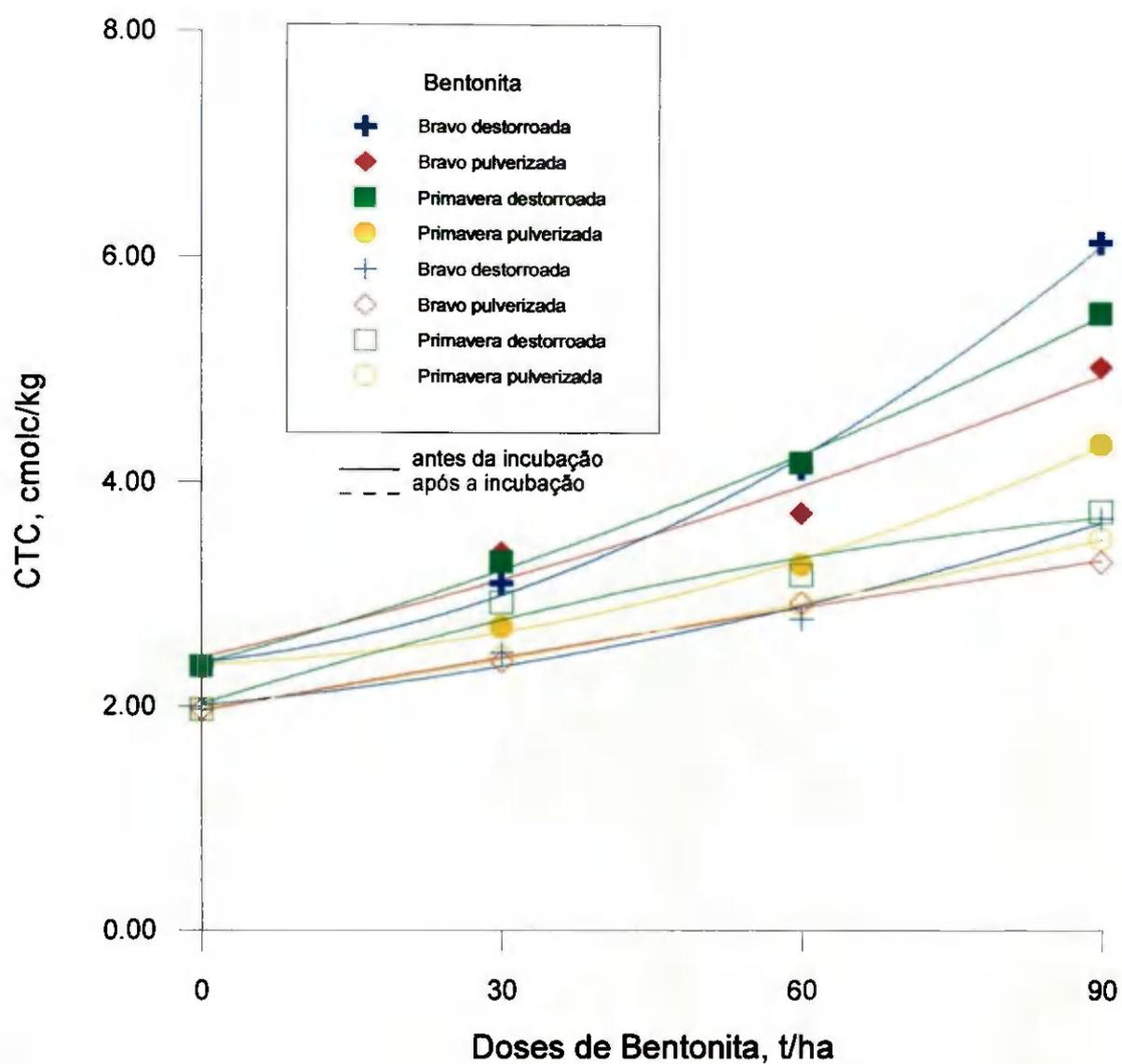


FIGURA.9. Efeito das doses crescentes das bentonitas bravo e primavera, destorroadas e pulverizadas, antes e depois da incubação, nos valores de CTC do solo.

5. CONCLUSÕES

No que diz respeito aos diferentes tipos de bentonita utilizadas no trabalho, observa-se pela discussão anterior que não houve um que se destacasse como o melhor em relação aos parâmetros analisados. As bentonitas mostraram comportamentos distintos, conforme suas próprias características. Desta forma, e sabendo-se que algumas propriedades do regossolo como, retenção de água, água disponível, condutividade hidráulica, CTC e pH, devem ser modificadas, visando um melhor desenvolvimento das culturas, as conclusões serão apresentadas em relação a estas propriedades.

De acordo com os resultados obtidos e sua interpretação, foram possíveis as seguintes conclusões:

- 1- Apesar de uma ou outra bentonita se destacar em determinados parâmetros analisados, em geral, as duas apresentaram resultados satisfatórios em relação à testemunha.
- 2- Em geral, todas as doses das bentonitas tiveram efeito significativo em relação à testemunha, sendo os melhores resultados obtidos com a maior dose.
- 3- O tempo de incubação, em geral, não promoveu variações nos valores dos parâmetros analisados.

- 4- Apesar da bentonita incorporada ao solo ter concorrido para aumentar a fração argila, não teve efeito sobre a classificação textural da mistura.
- 5- As doses de bentonita, independente da fonte e granulometria, contribuíram para aumentar a água disponível da mistura e reduziram a condutividade hidráulica do solo, com relação a testemunha, inicialmente alta, típica de uma areia franca.
- 6- A incorporação da bentonita ao solo sugere uma melhoria no pH da mistura, principalmente para as determinações feitas na suspensão solo:água.
- 7- A capacidade de troca catiônica da mistura foi significativamente favorecida pelas doses de bentonita aplicadas ao solo, independente da fonte e granulometria, bem como do tempo de incubação.
- 8- As bentonitas Bravo e Primavera de acordo com as conclusões acima, podem ser utilizadas como condicionadoras do regossolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, W.A.P. ; COSTA, L.M. & NEVES, J.C.L. **Comparação entre métodos de determinação de PCZ em solos de baixa CTC.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa - MG. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Resumos Expandidos . Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1, p.283-285.
- ALLEONI, L.R.F. & CAMARGO, O.A. **Variação de atributos eletroquímicos de latossolos ácidos do norte paulista com o pH do meio.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia - GO. Cerrados: Fronteira Agrícola no Século XXI. Resumos. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.1, p.221-222.
- AQUINO, A.R.L., SANTOS, A.B., STEINMETZ, S., et al. **Utilização da vermiculita no aumento da produtividade de solos dos cerrados.** Goiânia: EMBRAPA - CNPAF, 1981. 25p.
- ARAGÃO, E.C. **Caracterização física de três solos do Município de Areia - Paraíba.** Areia: 1978. 102p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba.
- AWAD, M. & CASTRO, P.R.C. **Introdução à fisiologia vegetal.** 1989. 177p.
- BABCOCK, K.L. **Theory of chemical properties of soil colloidal systems at equilibrium.** Hilgardia. v.34, n.11.,1963. 542 p.
- BATAGLIA, O.C. **Sistema de irrigação em vasos para experimentos de adubação.** Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.14, p.19-24, 1990.
- BAVER, L.D., GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. **Soil physics.** 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1972. 498p.

- BELTRAME, L.F.S., IOCHPE, B., ROSA, S.M., & MIRANDA, T.L.G. **Lixiviação de íons em solo cultivado com arroz irrigado por inundação.** Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.16, p.203-208, 1992.
- BELTRÁN, J.M.. **Drenaje agrícola.** Madrid: Secretaria Geral Técnica. Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación. Manual técnico. v.1, n.5. 1987.
- BOUYOUCOS, G.J.. **A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils.** Agronomy Journal, v.43, n.4, p.434-438. 1951.
- BRADY, N.C. & BUCKMAN, H.O. **Natureza e propriedades dos solos.** Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1976. 594p.
- BRASIL. Ministério do Interior. Divisão de Agrologia DRN - SUDENE. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba.** Convênio de mapeamento de solos MA/EPE-SUDENE. Rio de Janeiro: 1972. 683p.
- BUTIERRES, M.F.M.. **Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto zero de carga (PZC) e grau de floculação em três solos do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: 1980. 59p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria do Rio Grande do Sul.
- BUNT, A.C. **Some physical and chemical of loamles pot-plant substrates and their relation to plant growth.** Med. Land., Gent, v. 38, n.4, p 1954-65, 1974.
- CARVALLO, H.O. & AZEVEDO, H.M.. **Determinação da condutividade hidráulica não saturada, baseada na curva de retenção de água do solo.** In: Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, 1975. Fortaleza.(editor). 1975, (p).
- CHAVES, L. H. G.. **Equilíbrio de troca entre potássio e cálcio e lixiviação destes cátions em solos com carga variável.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz": 1984. 83p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade de São Paulo.
- CHAVES, L.H.G. & KINJO, T. **Equilíbrio de troca potássio-cálcio em solos paulistas.** Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.12, p.101-107, 1988.

- CHAVES, L.H.G. ; AZEVEDO, N.C. & TITO, G.A.. Efeito da aplicação da bentonita nas propriedades químicas de um regossolo distrófico. in: CONGRESSO BRASILEIRO de CIÊNCIA de SOLO, 24, 1993, Goiânia, Cerrados: Fronteira Agrícola no Século XXI. Goiânia, Sociedades Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 3v, p.277-278.
- CHEN, T.J.; SOUZA SANTOS, P.; FERREIRA, H.C. et all. Determinação da capacidade de troca de cátions e da área específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo azul de metileno e sua correção com algumas propriedades tecnológicas. São Paulo: Rev. Cerâmica, v.20, n.79, p. 305-326, 1974.
- CHOUDHURY, E.N. & FARIA, C.M.B.. Influência da vermiculita sobre a produção de melão e intervalo de irrigação no trópico semi-árido do Nordeste. Boletim de pesquisa, Petrolina-Pe: EMBRAPA-CPATSA. v.18, 20p, 1982.
- CHOUDHURY, E.N.. Utilização da vermiculita no aumento da produção agrícola em áreas seme-áridas do Nordeste. Petrolina - Pe: Relatório Técnico, 1983. 37p.
- CHIANG, S.C. ; RADCLIFFE, D.E. ; MILLER, W.P. & NEYMAN, K.D. Hydraulic conductivity of three southeastern soils as affected by sodium, electrolyte concentration, and pH. Soil Sci. Soc. Am. J., n.51, p.1293-1299, 1987.
- COELHO, M.A. Aspecto da dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos. Ci.Agron., v.14, n.1/2, p.61-68, 1983.
- COSTA, J.B.. Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 1985. 527p.
- CRUCIANI, D.E.. A drenagem na agricultura. São Paulo: Nobel, 1986. 337p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e conservação do solo. Manual e métodos de análise de conservação de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.
- ESPINOZA, W. & REIS, A.E.G.. Lixiviação de Ca, K e Mg em um latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Cerrados. I. Magnitude e variabilidade do fenômeno na época chuvosa. Rev.Pesq. Agropecuária bras. Brasília: v.17, n.2, p.229-317. 1982.

- FAGERIA, N.K.. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas.** Brasília: Departamento de Publicações, 1989. 425p.
- FASSBENDER, H.W.. **Química de suelos com ênfases en suelos de América Latina.** San José, Costa Rica: Instituto Internacional de Ciências Agrícolas, 1980. 398p.
- FERREIRA, P.A.. **Drenagem.** Brasília, ABEAS, 1987. 86p. (Módulo II).
- FORTES, J.L.O. & CAMPOS NETO, D.. **Alterações nas características químicas do solo e produção vegetal do milho com uso de resíduos de bauxita e cinza de caldeira.** In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, III, 1995, Viçosa. Resumos Expandidos Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1331-1333.
- GAVANDE, S.A.. **Física de suelos - principios y aplicaciones.** Mexico: Editora Limusa-wiley, 1973. 351p.
- GHEYI, H.R. ; MEDEIROS, J.F. & BATISTA. M.A.F. **IV Curso internacional de drenagem de terras agrícolas.** Apostila. Departamento de Engenharia Agrícola - UFPB. 1992.68p.
- GRIM, R.E.. **Clay Mineralogy.** 2. ed. New York: Mc Graw. Hill Book Company, 1968. 596p.
- GJORUP, G. B. **Influência da carga dependente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água.** Viçosa: 1992. 41p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- HILLEL ,D.. **Solo e Água - Fenômenos e princípios físicos.** Porto Alegre: 1970. 231p.
- JENSEN, E.M. **Design and operation of farm irrigation systems.** St. Joseph, Madison, ASAE, 1983. 829p.
- JUCKSCH, I.. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo vermelho-escuro.** Viçosa: 1987. 37p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- KIEHL, E.J.. **Manual de edafologia ; Relações solo-planta.** São Paulo: 1979. 262p.

- KIMINAMI, R.H.G.A.. Efeitos de tratamentos de cura em algumas propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista, visando sua aplicação como fluidos tixotrópicos para perfuração de poços de petróleo. Campina Grande: 1981. 212p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba.
- KIRKHAM, D. & POWERS, W.L. *Advanced Soil Physics*. 534 p. 1972.
- KLAR, A.E.. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.
- KOENIGS, F.F.R. *The mechanical stability of clay soil as influenced by the moisture conditions and some factors*. Wageningen, hol Centrum voor Landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie, 1961. 171 p.
- LIBARDI, P.L.. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba: 1995. 497p.
- LOGAN, T.J. & PREZOTO, M.E.M.. *Avaliação da possibilidade de uso agrônomo de lodo de esgoto tratado com resíduo de indústria de cimento (CKD-Sludge)*. In: XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.386-387.
- LOPES, A.S.. *Manual de fertilidade do solo ; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato*. Lavras: ESAL, 1978. 155p.
- LOUREIRO, B.T. , GALDINO, S. , FERREIRA, P.A. , OLIVEIRA, L.M.. *Estimativa de macroporosidade baseada em algumas características de solo de várzea*. Rev. Ceres, Viçosa, v.37, n.211, p.190-214,1990.
- LOUREIRO, B.T. , PRATA FILHO, D.A. , FERREIRA, P.A.. *Condutividade hidráulica, curvatura do lençol freático e porosidade drenável de dois solos de várzea*. Rev. Ceres, v.38, n.218, p.259-276, 1991.
- LUTHIN, J.N. *Drenaje de tierras agrícola ; teoria y aplicaciones*. México: Editorial Limusa, 1986. 686p.

- MESSIAS, A.S. & MORAIS, F.A. **Emprego do lixo urbano na adubação do milho.** In: XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Piracicaba. 1992. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.384-385.
- MITCHELL, J.K. **Fundamentals of soil behavior.** Berkeley, University of California, John Wiley, 1976. 422 p.
- NACHTIGAL, G.R., VAHL, L.C., PAULETTO, E.A. & TURATTI, A.L.. **A vermiculita expandida e a umidade do solo no desenvolvimento da colza em casa de vegetação.** Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.14, p.363-368, 1990.
- NETTO, A.R.; BRAGA, J.M. & COSTA, L.M. **Efeito da calagem sobre a dispersão de argilas de solos com diferentes características mineralógicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa - MG. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Resumos Expandidos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1995. v.1, p.301-303.
- NOVELINO, J.O. ; LEITE, P.C. ; PROENÇA, S.S. & SILVA, M.L.. **Características químicas de dois latossolos de Dourados - MS, submetidos à aplicação de pó de basalto.** In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, III, 1995 Viçosa. Resumos Expandidos Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1995. p.1334-1335.
- OGDEN, By. F.L. & RUFF, J.F.. **Setting time effects on bentonite water-well annulus seals.** Journal of irrigation and drainage engineering american society of civil engineers. V.117, n.4, p.534-545, 1991.
- OTTO, S.R.L. , LOUREIRO, B.T. , FERREIRA, P.A. et all. **Estimativa da porosidade drenável em função da condutividade hidráulica saturada, em um solo orgânico.** Rev. Ceres, Viçosa, v.26, n.207, p.399-405, 1989.
- PEIXOTO, R.T.G. ; TRAINA, S.J. & BIGHAM, J.M. **Propriedades químicas de superfície em função da composição mineral e matéria orgânica em latossolos derivados de basalto no Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995. Viçosa - MG, O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Resumos Expandidos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v.1, p.298-300.

- PINTO, F.A. , FERREIRA, P.A ., BERNADO, S. & OLIVEIRA, L.M.. Variabilidade da condutividade hidráulica da densidade aparente e da distribuição do tamanho das partículas de um podzólico vermelho-amarelo. Rev. Ceres, Viçosa, v.27, n.150, p.196-214, 1980.
- QUEIROZ, M.F.V.. Influência do tratamento de cura em câmara úmida e climatizada nas propriedades reológicas e nos teores de carbonatos e bicarbonatos das argilas esmectitas do distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande - PB. Campina Grande, 1985. 222p. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Universidade Federal da Paraíba.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc. , Madison, n.36, p.587-593, 1972.
- RAIJ, B. van. Determinação de cargas elétricas em solos. Bragantia, Campinas: n.32, p.170-183, 1973.
- RAIJ, B. van.. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa & Fosfato(EUA): Instituto Internacional, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van.. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.
- RAIJ, B. van.. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1991. 343p.
- REICHARDT, K.. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas-SP: Fundação Cargil, 1985. 445p.
- REICHARDT, K.. Simpósio sobre o manejo de água na agricultura. Campinas - SP: Fundação Cargil, 1987. 226p.
- RICHARDS, L.A. (ed). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: U.S. Depart. of agricul, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook,60).

ROS, C.O. ; AITA, C. ; CERETTA, C.A. & FRIES, M.R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na sossiação aveia-ervilhaca. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.17, n.2, p.257-261, 1963.

ROSE, C.W. Agricultural physics . Oxford: Pergamon Press, 1965. p.88-119.

SALATI, E., REICHARDT, K. & UQUIAGA, C.S.. Efeito da adição da vermiculita na retenção e armazenamento de água por latossolos. Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, v.4, p.125-131, 1980.

SÁNCHEZ, P.A.. Suelos del tropico; características y manejo. Costa Rica: 1981. 634p.

SANTOS, F.A. ; DIAS, L.E. & COSTA, L.M. Correlação entre dois métodos de determinação do ponto de carga zero e deste com características químicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24.,1993, Goiânia - GO. Cerrados: Fronteira Agrícola no Século XXI. Resumos. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.1, p.253-254.

SOUZA, C.M. ; FIGUEIREDO, M.S. ; COSTA, L.M. & GALVÃO, J.C.C.. Uso do lodo primário da indústria de celulose e papel em povoamentos de eucalipto. In: XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Manaus, 1996. Resumo Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996. p.537-538.

SOUZA SANTOS, P.. Tecnologia de argilas. São Paulo: Edgar Blucher, v.I, 1975. 340p.

SOUZA SANTOS, P.. Estudo tecnológico de argila montmorilonítica do distrito de Boa Vista, Município de Campina Grande, Paraíba. Instituto de pesquisa tecnológica do estado de São Paulo. Publicação n:862. 1976. 53p.

SOIL, SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Committe report. Glossary of soil science terms. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., v.29, n.3, p.330-351, 1965.

SMEDEMA, L.K. & RYCROFT, D.W.. Land drainage planning and desingn of agricultural drainage systems. Lodon: B.T. Balsford Ltd. Part. I, 1983. p:15-38.

- TALSMA, T. & FLINT, S.E.. Some factors determining the hydraulic conductivity of subsoils with special reference to tile drainage problems. *Soil Science*, v.85 n.4, p.198-206, 1958.
- TAN, K.H.. *Principles of soil chemistry*. New York: Marcel Dekker, 1982. 267p.
- UEHARA, G. Mineralo-chemical properties of oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 2, Malaysia, 1978. Bangkok; Soil Survey Division, Land Development Department, 1979. Part I, p.45 - 60.
- VELOSO, M.E.C. Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um brunizem avermelhado. Viçosa: 1991. 52p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- VIEIRA, D.B.. *Relação água, solo e planta*. Brasília: Módulo 3.1, 1988. 58p.
- VIEIRA, S.R., MARIA, I.C., CASTRO, O.M.de et al *Utilização da análise de Fourier no estudo do efeito residual da adubação em uva na crotalaria*. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.11, p.7-10, 1987.
- YADAV, J.S.P. & GIRDHAR, I.K. The effects of different magnesium: calcium ratios and sodium adsorption ratios values of leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareous soils. *Soil Sci.*, v.131, n.3, p.193-198, 1981.
- YOUSAF, M ; ALI, O.M. & RHOADES, J.D. Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt-affected arid land soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n.51, p.905-907, 1987.

APÊNDICE

QUADRO IA. Teor de umidade volumétrica em diferentes tensões, antes da incubação, em função dos tratamentos.

Doses	Tensões					
	0,1atm	0,33atm	1,0atm	5,0atm	10,0atm	15,0atm
-----%						
Bravo Pulverizada						
0	13,66	6,14	3,16	2,92	2,81	2,75
1	18,56	7,89	4,57	4,13	3,60	3,53
2	19,37	9,85	6,52	5,31	4,27	4,19
3	21,25	11,85	8,64	7,04	5,95	5,62
Bravo Destorroadada						
0	13,66	6,14	3,16	2,92	2,81	2,75
1	16,56	6,59	4,20	4,14	3,65	3,22
2	16,89	7,53	6,22	4,80	4,38	3,97
3	19,79	9,84	8,11	5,78	5,70	5,08
Primavera Pulverizada						
0	13,66	6,14	3,16	2,92	2,81	2,75
1	17,86	10,13	5,30	3,93	3,77	3,03
2	18,64	10,61	6,80	5,18	4,96	4,04
3	21,45	12,92	9,27	6,28	5,76	4,63
Primavera destorroadada						
0	13,66	6,14	3,16	2,92	2,81	2,75
1	14,66	10,56	5,16	3,84	3,79	2,89
2	18,33	10,57	6,12	5,08	4,77	3,67
3	19,15	12,22	6,47	5,88	5,29	4,13

QUADRO 2A. Teor de umidade volumétrica em diferentes tensões, após incubação, em função dos tratamentos.

Doses	Tensões					
	0,1atm	0,33atm	1,0atm	5,0atm	10,0atm	15,0atm
-----%-----						
Bravo Pulverizada						
0	11,76	6,22	5,17	3,39	2,71	2,49
1	13,36	7,46	6,08	4,09	3,77	3,54
2	15,43	8,68	7,80	5,19	4,02	4,17
3	15,67	9,25	7,65	5,75	4,50	4,53
Bravo destorroada						
0	11,76	6,22	5,17	3,39	2,71	2,49
1	13,35	7,50	5,48	5,33	3,28	2,97
2	13,88	8,56	7,76	4,94	3,89	3,61
3	14,99	10,15	8,98	5,46	4,75	4,31
Primavera Pulverizada						
0	11,76	6,22	5,17	3,39	2,71	2,49
1	13,78	8,74	5,06	4,06	3,56	3,36
2	14,14	8,98	7,52	4,90	4,44	3,60
3	16,48	11,23	9,22	6,03	5,25	4,32
Primavera Destorroada						
0	11,76	6,22	5,17	3,39	2,71	2,49
1	17,32	8,68	6,88	4,05	3,98	3,37
2	19,38	9,90	8,19	5,71	4,72	4,30
3	20,64	10,83	9,33	6,72	5,42	4,89

QUADRO 3A. Resumo da análise de variância dos dados de Água Disponível (AD), Condutividade Hidráulica (CH), Argila Dispersa e Grau de Floculação, antes e após a incubação.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio							
		AD(%)		CH (cm/min)		Argila Dispersa (%)		Grau de Floculação	
		1	2	60 dias	120 dias	1	2	1	2
Bentonita	1	0,3187ns	53,0667**	0,0012**	0,0004ns	0,1447**	0,0675*	54,1354**	42,3438**
Bd	3	7,3461*	1,5704ns	0,0075**	0,0118**	0,4214**	0,1454**	10,7361ns	37,5399
Bp	3	14,2397**	5,1520ns	0,0077**	0,0131**	0,4144**	0,0301ns	24,4957*	0,3056ns
Pd	3	12,2601**	34,1876**	0,0090**	0,0087**	0,3775**	0,0279ns	26,0061*	24,8793
Pp	3	19,7730**	8,4415*	0,0091**	0,0130**	0,0973**	0,0267ns	5,6181*	35,0026*
resíduo	34	2,0034	2,3639	0,0002	0,0006	0,0211	0,0216	6,5234	8,9910
CV%		10,354	14,210	10,476	15,309	10,488	9,998	3,086	1,196

CV% = coeficiente de variação;

1= antes da incubação

2= após a incubação

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%

QUADRO 4A. Resumo da análise de variância dos dados de pH em água, pH em KCl, Ponto de Carga Zero (PCZ), Afastamento, e Capacidade de Troca Catiônica (CTC), antes e após a incubação.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio									
		pH H ₂ O		pH KCl		PCZ		Afastamento		CTC	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bentonita	1	0,718**	0,821**	0,190**	0,845**	0,011ns	0,872**	0,594**	0,001ns	0,899*	0,234**
Bd	3	0,020ns	0,136**	0,011ns	0,038**	0,017ns	0,041**	0,022ns	0,201**	8,126**	1,469**
Bp	3	0,009ns	0,032*	0,002ns	0,031*	0,022ns	0,152**	0,058ns	0,247**	3,690**	1,021**
Pd	3	0,269**	0,483**	0,003ns	0,216**	0,169**	0,058**	0,755**	0,217**	5,418**	1,645**
Pp	3	0,171**	0,306**	0,156**	0,139**	0,086*	0,055**	0,072ns	0,165**	2,271**	1,289**
Resíduo	34	0,0076	0,0101	0,0089	0,0079	0,0287	0,0080	0,0275	0,0048	0,173	0,032
CV (%)		1,547	1,868	1,855	1,834	3,736	2,073	15,075	6,505	11,437	6,532

CV% = coeficiente de variação;

1= antes da incubação

2= após a incubação

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%

QUADRO 5A. Equações de regressão dos valores de pH do solo em função das doses das bentonitas bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroadada (a)	$y = 5,4145 + 0,00631 x - 5,277.10^{-5} x^2$	0,97
Bravo pulverizada (a)	$y = 5,4225 + 0,00225 x - 8,333.10^{-6} x^2$	0,99
Primavera destorroadada (a)	$y = 5,4255 + 0,0070 x + 8,333.10^{-6} x^2$	0,99
Primavera pulverizada (a)	$y = 5,4205 + 0,0088 x - 3,055.10^{-5} x^2$	0,99
Bravo destorroadada (b)	$y = 5,077 - 0,000766 x + 6,11.10^{-5} x^2$	0,84
Bravo pulverizada (b)	$y = 5,123 + 0,00693 x - 5,55.10^{-5} x^2$	0,89
Primavera destorroadada (b)	$y = 5,118 + 0,01376 x - 3,88.10^{-5} x^2$	0,99
Primavera pulverizada (b)	$y = 5,184 - 0,0001833 x + 7,5.10^{-5} x^2$	0,66

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação

QUADRO 6A. Equações de regressão dos valores de condutividade elétrica do solo em função das doses das bentonitas bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroadada (a)	$y = 0,206 + 0,0003666 x + 5.10^{-5} x^2$	0,96
Bravo pulverizada (a)	$y = 0,1935 + 0,00095 x + 1,944.10^{-5} x^2$	0,99
Primavera destorroadada (a)	$y = 0,1955 + 0,001517 x - 8,333.10^{-5} x^2$	0,83
Primavera pulverizada (a)	$y = 0,198 - 0,001566 x - 3,888.10^{-5} x^2$	0,94
Bravo destorroadada (b)	$y = 0,0715 + 0,000883 x - 2,777.10^{-6} x^2$	0,98
Bravo pulverizada (b)	$y = 0,0725 + 0,00075 x - 2,77.10^{-6} x^2$	0,90
Primavera destorroadada (b)	$y = 0,073 + 0,0006 x$	0,90
Primavera pulverizada (b)	$y = 0,072 + 0,0019 x - 1,666.10^{-5} x^2$	0,95

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação

QUADRO 7A. Equações de regressão dos valores de cálcio trocável do solo em função das doses de bentonita bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroada (a)	$y = 1,074 - 0,0037 x + 6,111 \cdot 10^{-5} x^2$	0,97
Bravo pulverizada (a)	$y = 1,076 - 0,001967 x + 5 \cdot 10^{-5} x^2$	0,99
Primavera destorroada (a)	$y = 1,072 + 0,000399 x + 7,777 \cdot 10^{-5} x^2$	0,99
Primavera pulverizada (a)	$y = 1,086 - 0,003133 x + 0,000111 x^2$	0,99
Bravo destorroada (b)	$y = 0,749 + 0,0023 x$	0,90
Bravo pulverizada (b)	$y = 0,747 + 0,001567 x$	0,96
Primavera destorroada (b)	$y = 0,752 + 0,006567 x$	0,94
Primavera pulverizada (b)	$y = 0,726 + 0,00503 x$	0,97

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação

QUADRO 8A. Equações de regressão dos valores de magnésio trocável do solo em função das doses das bentonitas bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroada (a)	$y = 0,7445 + 0,01948 x - 6,94 \cdot 10^{-5} x^2$	0,99
Bravo pulverizada (a)	$y = 0,8005 + 0,01352 x + 4,72 \cdot 10^{-5} x^2$	0,95
Primavera destorroada (a)	$y = 0,769 + 0,01747 x$	0,99
Primavera pulverizada (a)	$y = 0,754 + 0,001467 x + 0,000111 x^2$	0,99
Bravo destorroada (b)	$y = 0,4 + 0,005 x + 8,888 \cdot 10^{-5} x^2$	0,99
Bravo pulverizada (b)	$y = 0,396 + 0,009367 x$	0,99
Primavera destorroada (b)	$y = 0,457 + 0,012233 x$	0,97
Primavera pulverizada (b)	$y = 0,401 + 0,010033 x$	0,99

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação

QUADRO 9A. Equações de regressão dos valores de sódio trocável do solo em função das doses das bentonitas bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroadada (a)	$y = 0,0895 - 0,00635 x + 0,0003361 x^2$	0,99
Bravo pulverizada (a)	$y = 0,067 + 0,0049 x + 2,777.10^{-5} x^2$	0,99
Primavera destorroadada (a)	$y = 0,081 - 0,0009666 x + 0,00011667 x^2$	0,98
Primavera pulverizada (a)	$y = 0,063 + 0,004766 x$	0,99
Bravo destorroadada (b)	$y = 0,0485 - 5.10^{-5} x + 1,944.10^{-5} x^2$	0,99
Bravo pulverizada (b)	$y = 0,0515 + 0,003383 x - 1,9444.10^{-5} x^2$	0,99
Primavera destorroadada (b)	$y = 0,055 + 0,001833 x - 5,555.10^{-6} x^2$	0,94
Primavera pulverizada (b)	$y = 0,045 + 0,0005 x + 1,666.10^{-5} x^2$	0,97

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação

QUADRO 10A. Equações de regressão dos valores de CTC do solo em função das doses das bentonitas bravo e primavera aplicadas.

Bentonita	Equação de Regressão	R ²
Bravo destorroadada (a)	$y = 2,395 + 0,00933x + 0,000355 x^2$	0,99
Bravo pulverizada (a)	$y = 2,44 + 0,0205x + 8,333.10^{-5} x^2$	0,97
Primavera destorroadada (a)	$y = 2,384 + 0,02432x + 0,000114 x^2$	0,99
Primavera pulverizada (a)	$y = 2,375 + 0,00351x + 0,000202 x^2$	0,99
Bravo destorroadada (b)	$y = 2,009 - 0,00848 x + 0,000108 x^2$	0,98
Bravo pulverizada (b)	$y = 1,957 + 0,01657x - 1,666.10^{-5} x^2$	0,99
Primavera destorroadada (b)	$y = 2,021 + 0,02838 x - 0,000108 x^2$	0,97
Primavera pulverizada (b)	$y = 1,973 - 0,01393 x + 3,33.10^{-5} x^2$	0,99

(a) resultados obtidos antes da incubação; (b) resultados obtidos após a incubação