



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**EMPREGO DE CORRETIVOS QUÍMICOS, FONTES E
DOSES DE FÓSFORO EM SOLO DEGRADADO POR SAIS
CULTIVADO COM MILHETO (*Pennisetum glaucum* L.)**

José Carlos de Menezes Júnior

PATOS-PB

2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAUDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**EMPREGO DE CORRETIVOS QUÍMICOS, FONTES E
DOSES DE FÓSFORO EM SOLO DEGRADADO POR SAIS
CULTIVADO COM MILHETO (*Pennisetum glaucum* L.)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências vigentes para obtenção do título de Mestre.

José Carlos de Menezes Júnior

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rivaldo Vital dos Santos.

PATOS – PB

2008

M543e Menezes Júnior, José Carlos de.

Emprego de corretivos químicos, fontes e doses de fósforo em solo degradado por sais cultivado com milho (Pennisetum glaucum L.). / José Carlos de Menezes Júnior. - Patos - PB: [s.n], 2008.

65 f.

Orientador: Professor Dr. Rivaldo Vital dos Santos.

Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Saúde e Tecnologia Rural.

1. Salinidade no solo. 2. Correção de solo salino. 3. Corretivos químicos - solo. 4. Salinidade na agricultura. 5. Salinidade nas plantas. 6. Fósforo na agricultura. 7. Solos degradados por sal. 8. Sodicidade no solo. 9. Milho. I. Santos, Rivaldo Vital dos. II. Título.

CDU:631.413.3(043)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAUDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EMPREGO DE CORRETIVOS QUÍMICOS, FONTES E DOSES DE FÓSFORO EM SOLO DEGRADADO POR SAIS CULTIVADO COM MILHETO (*Pennisetum glaucum* L.).

AUTOR: José Carlos de Menezes Júnior

APROVADA EM: ____/____/____

Prof. Dr. Rivaldo Vital dos Santos
UFCG – Orientador

Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante
UFPB – Examinador

Prof. Dr. Dr. Jacob Silva Souto
UFCG – Examinador

PATOS – PB
2008

DEDICO

A Deus

“Mas em todas estas coisas somos mais do que vencedores, por aquele que nos amou”. (Romanos 8:37).

Aos meus estimados pais

José Carlos de Menezes e Inácia Dutra de Menezes

Assim como também aos demais familiares

E aos amigos verdadeiros.

“Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.”
(II Timóteo 4:7-8)

AGRADECIMENTOS

A DEUS....Por tudo o que tens feito, por tudo o que vais fazer, por Tuas promessas e tudo o que és, eu quero te agradecer, com todo o meu ser.

Ao Professor Rivaldo Vital dos Santos pela orientação na execução desse trabalho, ensinamentos, paciência, pela defesa nos momentos difíceis e inquestionável amizade.

Ao Professor Lourival Ferreira Cavalcante pela consideração, disponibilidade e colaboração para a melhoria desse trabalho.

Ao quadro de professores que compõem o Programa de Pós-Graduação de Zootecnia.

À Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade de aprimoramento, crescimento e aprendizado.

Ao quadro de funcionários do Centro de Saúde e Tecnologia Rural – UFCG, pela participação incontestável na execução desse trabalho, em especial Alexandre, Otávio e Aminthas.

A todos os colegas de mestrado que se tornaram amigos Adailton, Silvio, Chicão, Flamário, Pereira, Denise, Guilherme e Giovanna em peculiar a Wladimir Nicolau Sobrinho, pela simples amizade, e Séfora Gil Gomes de Farias.

Aos amigos distantes do CCA-UFPB, Jandiê Araújo, Klerton Xavier, Edvânia de Oliveira, João Paulo Macedo e Gibran, que mesmo de longe, tiveram participação efetiva na realização desse trabalho.

Aos meus conterrâneos, filhos de Catolé, Zeno Fixina, Magdiel Vieira, Nebson Pequeno, Ramon Ramones e até mesmo Marcelo Gadelha, que dividiram teto durante essa jornada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Problemas de salinidade na Agricultura.....	3
2.2. Efeito dos sais.....	5
2.2.1. No solo.....	5
2.2.2. Nas plantas.....	5
2.3. Correção de solos com problemas de salinidade e sodicidade.....	7
2.3.1. Emprego de gesso.....	8
2.3.2. Emprego de ácido sulfúrico.....	9
2.4. Fósforo na agricultura.....	9
2.4.1. Fósforo em solos afetados por sais.....	10
2.5. Milheto.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Localização do ensaio.....	14
3.2. Coleta e preparo do solo.....	14
3.3. Caracterização química e física do solo.....	15
3.4. Delineamento experimental.....	17
3.5. Quantificação e aplicação dos corretivos.....	17
3.6. Aplicação dos fertilizantes fosfatados.....	19
3.7. Adubação complementar, semeadura, medição de parâmetros agronômicos e colheita.....	19
3.8. Análise da composição mineral.....	20
3.9. Análise estatística.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Caracterização do solo.....	21
4.1.1. Efeito dos corretivos nos atributos químicos do solo.....	21
4.1.2. Efeito dos corretivos nos atributos físicos do solo.....	23

4.1.3. pH do solo.....	25
4.1.4. Disponibilidade de fósforo.....	27
4.2. Produção vegetal.....	29
4.3. Composição mineral.....	35
5. CONCLUSÕES.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise química do solo.....	15
Tabela 2 -	Concentração de micronutrientes no solo.....	16
Tabela 3 -	Análise do extrato de saturação.....	16
Tabela 4 -	Atributos físicos do solo.....	17
Tabela 5 -	Quantidades de superfosfato simples e ácido fosfórico aplicado ao solo a partir do teor de fósforo.....	19
Tabela 6 -	Valores dos atributos químicos do solo antes e após a aplicação dos corretivos e lavagem.....	21
Tabela 7 -	Valores dos atributos físicos do solo antes e após a aplicação dos corretivos e lavagem.....	24
Tabela 8 -	Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de pH do solo em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.....	25
Tabela 9 -	Teores de pH do solo em função das doses de fósforo em cada respectiva fonte.....	27
Tabela 10 -	Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de fósforo no solo em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.....	28
Tabela 11 -	Teor médio de fósforo na presença de cada corretivo.....	28
Tabela 12 -	Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de massa seca (MS), massa verde (MV), altura (ALT), diâmetro (DM) e número de folhas (NF) em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo..	30
Tabela 13 -	Produção de massa seca, massa verde, altura, diâmetro e números de folhas das plantas de milho em função dos corretivos.....	31
Tabela 14 -	Produção de massa seca, massa verde, altura, diâmetro e números de folhas das plantas de milho em função de fontes de fósforo.....	32
Tabela 15 -	Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.....	36

Tabela 16 - Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio em plantas de milho em função dos corretivos.	37
Tabela 17 - Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio em plantas de milho em função de fontes de fósforo.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Valores de pH do solo em função de doses de Ácido sulfúrico.....	18
Figura 2 -	Teores de pH do solo tratado com gesso (A) e ácido sulfúrico (B) em função de fontes e doses de fósforo.....	26
Figura 3 -	Teores de fósforo no solo em função de doses e fontes de fósforo...	29
Figura 4 -	Produção de massa seca do milho em função de doses e fontes de fósforo.....	32
Figura 5 -	Produção de massa seca do milho em função de doses e fontes de fósforo.....	33
Figura 6 -	Altura das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.....	34
Figura 7 -	Diâmetro das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.....	34
Figura 8 -	Número de folhas das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.....	35
Figura 9 -	Acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.....	38
Figura 10 -	Acúmulo de fósforo na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.....	39
Figura 11 -	Acúmulo de potássio na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.....	39

MENEZES JÚNIOR, J. C. de. **Emprego de corretivos químicos, fontes e doses de fósforo em solo degradado por sais cultivado com milheto (*Pennisetum glaucum* L.)**, Patos – PB, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, UFCG, 2008. 51 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

RESUMO

A correção de solos com problema de salinidade requer além da redução da concentração de sais solúveis e do sódio no perfil do solo, o aumento da fertilidade visando produções satisfatórias. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de corretivos, fontes e doses de fósforo na melhoria física e química de um solo salino-sódico e na produção do milheto. O ensaio experimental foi desenvolvido em telado pertencente ao CSTR/UFCG, Patos-PB. O solo utilizado no experimento é oriundo do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, pertencente ao município de Sousa-PB. O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 2 x 2 x 4, referente aos corretivos (gesso e ácido sulfúrico), as fontes de fósforo (ácido fosfórico e superfosfato simples) e as doses de P (0; 70; 140 e 210 mg dm⁻³), com três repetições. O solo foi acondicionado em vasos, permanecendo incubado após a aplicação dos corretivos durante 20 dias, em seguida efetuada lavagem, e mais 20 dias após a adição das fontes fosfatadas. Logo depois, cultivou-se o milheto. Ambos os corretivos proporcionaram redução da salinidade e sodicidade do solo. Foram observadas interações entre os corretivos e fontes de fósforo. O ácido fosfórico foi mais eficiente que o superfosfato simples na disponibilidade de P no solo. As plantas cultivadas com ácido fosfórico apresentaram maior produção vegetativa e acúmulo de nutrientes.

Palavras-chaves: solo salino, fertilidade, pH, composição mineral, nutrição.

MENEZES JÚNIOR, J. C. of. **Use of chemicals correctives, sources and levels of phosphorus in soil degraded by salts cultivated with millet (*Pennisetum glaucum* L.)**, Patos-PB, Center for Health and Rural Technology, UFCG, 2008. 51 P. Dissertation. The Postgraduate Program in Zootechnical.

ABSTRACT

Correcting the problem with soil salinity requires in addition to reducing the concentration of soluble salts and sodium in the soil profile, increased fertility in order to satisfactory yields. The objective was to evaluate the effect of lime, phosphorus sources and rates of improvement in the physics and chemistry of a saline-sodic soil and yield of millet. The research was conducted in a greenhouse belonging to the CSTR / UFCG, Patos-PB. The soil used in the experiment comes from the Irrigated Perimeter of São Gonçalo, in the municipality of Sousa-PB. The experiment was conducted in a completely randomized design in factorial $2 \times 2 \times 4$ concerning the corrective (gypsum and sulfuric acid), sources of phosphorus (phosphoric acid and superphosphate) and P rates (0, 70, 140 and 210 mg dm^{-3}) with three replications. The soil was packed in jars incubated remaining after application of lime for 20 days, then done washing, and 20 days after the addition of phosphate sources. Soon after, he grew up millet. Both corrective further reduction in salinity and sodicity. Interactions were observed between the lime and phosphorus sources. Phosphoric acid was more effective than superphosphate in soil P availability. Plants grown with phosphoric acid showed higher vegetative growth and nutrient accumulation.

Keywords: saline soil, fertility, pH, mineral composition, nutrition

1 INTRODUÇÃO

Normalmente, os solos afetados por sais são encontrados em zonas áridas e semi-áridas, em razão da alta taxa de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica, associada a uma drenagem deficiente. Além dos solos naturalmente halomórficos, muitos são salinizados e, ou sodificados pelo homem, com o uso inadequado da água de irrigação (OLIVEIRA et al., 2002).

A expansão das áreas irrigadas no mundo deu-se de forma a atender à crescente demanda de alimentos, tornando-se assim, um recurso para garantir a sobrevivência (RHOADES et al., 2000). Assim como a grande maioria das atividades humanas gera algum tipo de impacto negativo ao meio ambiente, a irrigação, se não for conduzida de modo racional, pode acarretar sérios danos ao solo, como o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, o que reduz sua fertilidade e, em longo prazo, pode provocar a desertificação da área afetada.

A salinização dos solos não está ligada somente à qualidade da água para irrigação, depende também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e das técnicas de manejo a ele aplicado. É comum o surgimento da salinidade em áreas irrigadas cujas técnicas de manejo não visem à aplicação suficiente de água e conservação da capacidade produtiva dos solos, bem como um eficiente sistema de drenagem e em locais onde há o uso excessivo de fertilizantes (SILVA FILHO et al., 2000).

O excesso de sais solúveis leva à redução do potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pela planta, causando desbalanço nutricional, afetando o desenvolvimento das culturas. Quando a salinidade não é muito elevada e o sódio é o íon predominante, nesse caso verifica-se toxidez nas plantas, dispersão de argilas e desestruturação dos solos, tornando-os impermeáveis (MCBRIDE & BAVEYE, 2002). Todavia, algumas plantas produzem satisfatoriamente em níveis elevados de salinidade.

A reabilitação desses solos requer a redução da concentração de sais solúveis e do sódio no perfil do solo, usualmente proporcionados pela aplicação de corretivos químicos, destacando-se o gesso e o ácido sulfúrico, seguida de lixiviação, a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. Associado a correção do solo, a melhoria nutricional pode ser uma alternativa para aumentar a produtividade de culturas

submetidas a ambientes salinizados (SOLIMAN et al., 1994; QADAR, 1998). Tratando-se da nutrição de fósforo, os resultados ainda não são muito claros, podendo variar conforme o nível da salinidade, da concentração de P e da espécie estudada (GRATTAN & GRIEVE, 1998). Acúmulos de fósforo foram observados nas folhas de plantas de sorgo forrageiro (LACERDA et al., 2006) e de feijão-de-corda (SILVA et al., 2003) submetida a estresse salino.

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) é um dos cereais de maior importância no mundo, sendo considerado uma excelente alternativa para a produção de grãos e forragem, especial em regiões áridas ou semi-áridas em virtude de sua adaptação à seca e aos solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica.

Apesar de produzir sob condição de baixa fertilidade, o milheto responde à fertilização dos solos. Essas propriedades evidenciam o potencial promissor do milheto como uma planta forrageira que pode ser usada estrategicamente na fase inicial da recuperação de terras degradadas. Devido ao rápido crescimento, o milheto mantém a área degradada protegida a partir dos quarenta dias após o plantio. Diante do exposto, da palatabilidade, valor protéico e a sua palhada, o milheto pode constituir uma alternativa para produção de silagem, principalmente em regiões com problemas de veranicos longos ou de aridez (KICHEL & MIRANDA, 2007).

Sob este aspecto, a definição de práticas de manejo que abordem a interação fertilidade e salinidade, torna-se imprescindível para a eficácia do processo de recuperação. Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a melhoria química e física de um solo salino-sódico em decorrência da aplicação de corretivos e de fontes e doses de fósforo na produção e sobre os teores de alguns elementos minerais nas plantas de milheto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Problemas de salinidade na Agricultura

A origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação dos solos, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (DIAS, 2004).

Muitos problemas relacionados com o excesso de sais e sódio trocável são inerentes ao solo no seu estado primitivo. Outros, entretanto, aparecem em decorrência de diversas situações, tais como precipitação pluviométrica limitada nas regiões áridas e semi-áridas, associada à baixa atividade bioclimática, ao menor grau de intemperização; à drenagem deficiente; ao emprego de sistemas de irrigação deficientes; à adoção de práticas de manejo inadequadas e à utilização de água de má qualidade (TERTULIANO et al., 2000). Além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e parcelada ao longo do ciclo natural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico (SOUSA, 2006). No nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas se encontram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados perímetros irrigados.

Em razão dos problemas de sais, os solos podem ser classificados como salinos, salino-sódicos e sódicos. A salinidade refere-se à concentração de sais solúveis de solo e aos aspectos tóxicos e osmóticos dos nutrientes, relacionados com a nutrição mineral das plantas. A alcalinidade relaciona-se mais à ação dos sais sobre os solos, que promovem a alteração da estrutura, diminuição da infiltrabilidade de água, da condutividade elétrica e da aeração, além de concentrar o solo em sódio trocável, carbonato e bicarbonato (CAVALCANTE, 2000).

Os solos contendo altas concentrações de sais solúveis e altos níveis de sódio trocável são chamados de solos salino-sódicos. Estes solos possuem CEEs maior que 4 dS m⁻¹ à 25° C, PST maior que 15 e pH próximo 8,5. Nesses solos, de acordo com Tanji (1990), depois de ocorrer a dispersão das argilas, há a formação de camadas adensadas ou impermeáveis. Geralmente, na reabilitação desses solos o uso de corretivos químicos associados à lavagem tem surtido efeitos benéficos (GOMES et al., 2000; CAVALCANTE et al., 2000).

A necessidade de aumentar a produtividade vem fazendo com que a agricultura irrigada tenha alcançado grande expressividade no setor produtivo mundial, com uma área irrigada no mundo em torno de 260 milhões de hectares, correspondente a 17% da área cultivada, e respondendo por 40% da produção total de alimentos (BARRETO e SILVA, 2004).

A irrigação, entretanto, não está isenta de problemas. As regiões semi-áridas são consideradas áreas potenciais para exploração da agricultura irrigada. Contudo, suas fontes hídricas possuem, normalmente, elevados teores de sais, de modo que a irrigação com esses tipos de água incorporam quantidades significativas desses sais ao solo (RHOADES et al., 2000). A utilização dessas fontes de águas salinas pode, dependendo de sua constituição, alterar de forma negativa as propriedades físicas e químicas do solo e, dependendo da sua forma de aplicação, pode provocar graus variados de estresse aos vegetais. Estas respostas dependem da espécie vegetal, podendo-se encontrar diferenças, também, entre genótipos da mesma espécie (LACERDA, 2000). O uso de águas salinas na irrigação para produção vegetal é um desafio que vem sendo superado com sucesso em diversas partes do mundo, graças à utilização de espécies tolerantes e à adoção de práticas adequadas de manejo da cultura, do solo e da água de irrigação (SIQUEIRA, 2003).

A salinidade é um problema que atinge cerca de 45 dos 260 milhões de hectares da área irrigada do globo terrestre, trazendo sérios prejuízos para a produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde cerca de 25% da área irrigada já se encontra salinizada (FAO, 2000). A região Nordeste do Brasil abrange uma área de 1.600.000 km², dos quais 1.500.000 km² são caracterizados como de insuficiência hídrica, constituindo o "polígono das secas". Nessa região, a irrigação passa a assumir papel fundamental no desenvolvimento da agricultura. O Nordeste brasileiro apresenta uma área potencial de irrigação estimada em seis milhões de hectares, sendo que no semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas, por meio da ação antrópica, concentram-se nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados (BERNARDO, 1997). Vale salientar, que a intensidade desse problema é bastante variável entre esses perímetros (GHEYI, 2000; BRITO, 2002).

2.2 Efeito dos sais

2.2.1 No solo

A salinidade e a sodicidade acarretam a degradação física dos solos resultando em prejuízos quanto a disponibilidades de nutrientes, promovendo um desbalanço nutricional, uma vez que o excesso de sais na solução do solo leva a um distúrbio na absorção de nutrientes (VIANA et al., 2001). O excesso de sódio deteriora a estrutura dos solos, afetando a germinação. Além disso, valores elevados de sódio trocável dispersam as argilas, levando frequentemente à compactação, reduzindo a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (VERMA & SHARMA, 2000).

As alterações das propriedades físicas e químicas dos solos irrigados dependem da qualidade da água, das propriedades do solo e, especialmente, das condições de drenagem e do balanço de água e de sais no subsolo (HELWEG et al., 1980). De acordo com Lacerda (1995) o acúmulo de sais no solo afeta tanto a química quanto a física do solo. O processo de salinização ocasiona um aumento na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e os valores de pH podem chegar a 8,5, dependendo do tipo de sais (FASSENDER & BORNEMISZA, 1987).

Dentre as alterações dos parâmetros físico-hídricos do solo causados pelos sais destacam-se, o aumento da densidade global devido à contração das partículas do solo e, o aumento da retenção de água no solo em detrimento do aumento da pressão osmótica do meio. Além de causar toxicidade através do acúmulo de íons específicos e proporcionar um efeito indireto de ordem nutricional, promove também efeito na desestruturação do solo (GHEYI, 2000).

2.2.2 Nas plantas

A salinidade excessiva reduz o crescimento da planta por causar aumento no consumo de energia para absorver água do solo e realizar os ajustes bioquímicos necessários para sobreviver em condições de estresse (RHOADES et al., 2000). Culturas que são expostas às condições de alta salinidade por tempo prolongado apresentam sintomas de déficit hídrico, apresentando por isso efeitos como paralisação do crescimento, danos nas folhas, necroses ou danos nos tecidos (AYERS & WESTCOT, 1999). Porém, muitas vezes, a planta pode não exibir nenhum sintoma de estresse salino e apenas a comparação com plantas normais pode revelar a magnitude da inibição causada pelo baixo potencial osmótico do meio onde a planta está submetida (BLANCO, 1999).

Os problemas ocasionados nas plantas por causa dos sais se iniciam por meio do acúmulo destes no solo, gerando um potencial osmótico desfavorável à absorção de água pela planta. De acordo com GHEYI (2000), os sais além de afetarem a disponibilidade de água e provocarem toxicidade, podem causar um estado de desequilíbrio nutricional na planta, onde o excesso de determinado íon, na planta ou no solo, afeta a disponibilidade de outro e, como consequência, o seu crescimento e o desenvolvimento ficam prejudicados. Segundo Santos (2000) a medida que aumenta a concentração salina na solução do solo, sua pressão osmótica também é aumentada, podendo atingir um nível em que as raízes das plantas não terão força de sucção suficiente para superá-la e, conseqüentemente, não conseguirão absorver água, mesmo em um solo aparentemente úmido.

Um dos principais efeitos da salinidade nas culturas não tolerantes ao sal é a diminuição da taxa fotossintética (SILVA et al., 2003). Este efeito ocorre principalmente pelo acúmulo excessivo de íons tóxicos, distúrbios na nutrição mineral e/ou redução na turgescência que favorecem a inibição da expansão foliar afetando o processo fotossintético e reduzindo conseqüentemente a produção de fotoassimilados (MUNNS, 2002). De acordo com Ayers e Westcot (1999), os íons que mais freqüentemente causam toxicidade são o cloreto (necrose nas folhas) e o sódio (queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas). No caso específico do acúmulo de sódio e de cloreto pode ocorrer necrose dos tecidos foliares que se desenvolve inicialmente nas bordas e ápices reduzindo a área destinada à fotossíntese (LACERDA, 2000).

O acúmulo excessivo de sais pode levar à morte dos tecidos, órgãos e até mesmo da planta inteira (BERNSTEIN et al., 1993). Isto ocorre, em grande parte, devido aos distúrbios provocados pelos efeitos dos Íons Na^+ e Cl^- acumulados a nível celular, que afetam processos metabólicos vitais, tais como a fosforilação, a cadeia respiratória, a assimilação do nitrogênio e o metabolismo de proteínas (MUNNS, 2002).

Outro problema ocasionado pelos íons Na^+ e Cl^- nas plantas é o efeito do desequilíbrio iônico. Um excesso de Na^+ e, sobretudo, um excesso de Cl^- no protoplasma ocasionam distúrbio em relação ao balanço iônico (K^+ e Ca^{2+} em relação ao Na^+), bem como o efeito específico dos íons sobre as enzimas e membranas (LARCHER, 2000). A salinidade devido ao excesso de Na^+ ou Cl^- pode provocar também a inibição da absorção dos íons K^+ e Ca^{2+} pelas raízes, provocando sintomas de deficiências, afetando também o teor de amins e de proteínas (CRAMER et al., 1991).

2.3 Correção de solos com problemas de salinidade e sodicidade

A recuperação de solos afetados por sais tem como objetivo principal a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo, a um nível não prejudicial ao desenvolvimento das culturas. A diminuição do grau de salinidade envolve o processo de solubilização e a conseqüente remoção pela água de percolação, enquanto a diminuição do teor de sódio trocável envolve o seu deslocamento do complexo de troca pelo cálcio antes do processo de lixiviação (BARROS et al., 2004).

A correção dos solos com problemas de sais é demorada e onerosa, principalmente quando se trata do processo de alcalinização, pois além de lavagem do solo, há a necessidade de aplicação de condicionadores (HOLANDA, 2000). A tecnologia de recuperação a ser implantada depende do diagnóstico do problema, sobretudo dos principais sais presentes no solo. Se estes forem cloreto e sulfato de sódio, apenas a lavagem pode melhorar o solo, no entanto, se os sais forem tipos, carbonatos e bicarbonatos de sódio, cloreto ou sulfato de magnésio e sulfato de cálcio, deve ser incorporado um corretivo apropriado antes da lavagem (GHEYI, 2000). Também há as de melhorias biológicas, em que consiste no emprego de plantas para auxiliar na melhoria física dos solos (BATISTA et al., 2002).

Os solos salino-sódicos e sódicos não devem ser recuperados apenas com a lavagem. Nesses solos há necessidade da aplicação de um corretivo químico, a base de cálcio ou não com a finalidade de substituir o sódio do complexo de troca e transferi-lo para a solução do solo (SANTOS, 2002). Todavia, independente da escolha do corretivo, a existência de uma boa drenagem na área é fundamental (GHEYI, 2000)

Tratando-se de solos salino-sódicos, embora apresentem uma elevada concentração de sódio, possuem permeabilidade menos crítica do que os solos sódicos, em razão do efeito flocculante dos sais solúveis. No processo de recuperação desses solos, a retirada imediata dos sais, antes mesmo que o corretivo aplicado tenha a sua maior parte solubilizada, pode levar a uma drástica redução da drenagem e, por conseguinte, inviabilizá-los para a agricultura. Sob este aspecto, a definição de práticas de manejo adequadas torna-se imprescindível para a eficácia do processo de recuperação (OLIVEIRA et al., 2002; FREIRE et al., 2004).

2.3.1 Emprego de gesso

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um corretivo químico de uso freqüente na recuperação de solos com problemas de sódio trocável devido, por apresentar menor custo, fácil manuseio e relativa facilidade com que é encontrado no mercado, quando comparado a outros corretivos, (RAMIREZ et al., 1999).

Por se tratar de um sal neutro, o gesso se dissocia, quando em solução, formando Ca^{2+} e SO_4^{2-} e, deste modo, reage na solução do solo. A reação de troca de cátions, mais importante envolvendo gesso, ocorre justamente nos solos alcalinos ou sódicos, devido ao íon Ca^{2+} ser mais fortemente adsorvido ao solo que o íon Na^{2+} ; assim, grande parte do sódio trocável tenderá para a solução do solo (RAIJ, 1992). O íon sulfato tende a neutralizar o sódio em solução, originando o sulfato de sódio que, após a adição de água, é lixiviado para as camadas mais profundas do perfil do solo (SANTOS, 1995). A eficiência do gesso como corretivo é dependente da dissolução, dessa forma, a granulometria e o método de aplicação do corretivo podem influenciar a taxa de dissolução do gesso no solo (BARROS et al., 2004).

Após aplicação dos níveis de gesso e da lixiviação dos sais, Barros et al. (2006) constatou aumento da permeabilidade, redução da condutividade elétrica e correção da sodicidade dos solos. Vital (2002) verifica-se que o gesso exerceu efeito positivo sobre a disponibilidade de nutrientes e no crescimento inicial do cajueiro Anão precoce em solo salino-sódico. Observou também que o corretivo acelerou o aumento de cálcio do solo, reduziu a percentagem de sódio trocável (PST) e o pH do extrato de saturação do solo.

2.3.2 Emprego de ácido sulfúrico

Além da incorporação de gesso no solo, a adição de ácido sulfúrico tem sido usada largamente na recuperação de solos sódicos (MIYAMOTO et al., 1975; SHAINBERG et al., 1989). Ação positiva na correção da sodicidade do solo a aumento relevantes no rendimento do arroz e trigo foi observado em um solo salino-sódico tratado com H_2SO_4 (SADIQ et al., 2003)

Ao avaliar a eficácia do ácido sulfúrico e gesso na recuperação de um solo sódico, Amezketa et al. (2005) observaram maior eficiência do H_2SO_4 indicado pela redução mais rápida da condutividade elétrica, Na e RAS. Zia et al. (2007) comparando a eficiência do ácido sulfúrico e o gesso em um solo salino-sódico sobre rotação de culturas também constataram decréscimo da RAS com a aplicação de ácido sulfúrico e

gesso, em ambos os casos com 25% da necessidade de gesso requerido pelo solo. Resultados semelhantes foram reportados por Zia et al (2006), não observando diferenças significativas entre a adição de ácido sulfúrico e gesso. Embora esses mesmos autores tenham mencionado que o emprego de H_2SO_4 foi seis vezes mais oneroso que o uso do gesso.

Santos & Tertuliano (1998) estudando o crescimento de espécies arbóreas em solo salino-sódico tratado com ácido sulfúrico, averiguaram que a presença do H_2SO_4 apresentou maior crescimento da parte aérea. A aplicação do ácido sulfúrico resultou na maior produção de grãos de arroz e trigo e promoveu a melhoria rápida de um solo salino-sódico (SADIQ et al., 2007).

2.4 Fósforo na agricultura

O ritmo de produção necessário para suprir de alimentos uma população que aumenta explosivamente passou a exigir o crescente emprego de P na agricultura. Carência de fertilizantes fosfatados nos solos, traduz-se em atraso de crescimento e fraco desenvolvimento das plantas, isto é, rendimento e produção agrícolas reduzidos (LAPIDO-LOUREIRO e NASCIMENTO, 2003).

No Brasil, o fósforo é o elemento cuja falta tem mais limitado a produtividade das culturas. Levando-se em consideração as análises feitas no País, em 90 % destas verifica-se que os teores de P disponível no solo são frequentemente baixos (MALAVOLTA, 1980).

A correção da deficiência de fósforo se faz normalmente pela aplicação de fosfatos altamente solúveis, como são os superfosfatos e os fosfatos de amônio. Esses adubos, ao se dissolverem em água, transformam-se em ácido fosfórico (H_3PO_4) e fosfato ácido de cálcio ($CaHPO_4$). Essa solução ácida que se forma no solo exerce um efeito marcante na disponibilidade de P para as plantas, uma vez que o H_3PO_4 produzido concorre para a dissolução dos óxidos de Fe, Al e Mn, acelerando o processo de fixação de P. Em razão disso, a adubação fosfatada é prática indispensável para obtenção de altas produtividades (RAIJ, 1991).

2.4.1 Fósforo em solos afetados por sais

A concentração de fósforo na solução do solo normalmente é muito baixa, mas nas áreas irrigadas da região semi-árida nordestina os sais solúveis aparecem em

grandes quantidades, devido ao pH elevado, o fósforo precipita com o cálcio, tornando-se indisponível para as plantas (COX, 1991).

A interação entre salinidade e nutrição de fósforo das plantas é ainda bastante complexa, sendo altamente dependente da espécie ou cultivar, idade da planta, composição, nível de salinidade e concentração e disponibilidade de P no solo (GRATTAN & GRIEVE, 1998). Teores de P nas folhas foram maiores nas plantas submetidas ao estresse salino e as respostas de crescimento das plantas controle e estressadas diferiram em relação à aplicação de P na solução nutritiva, evidenciando a existência de interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo (LACERDA et al., 2006).

O excesso de sais no solo, além de causar problemas de toxicidade às plantas, também pode influenciar a absorção de outros elementos essenciais. Plantas que crescem em condições salinas, apresentam alteração da concentração de diferentes elementos, resultado do desbalanço nas concentrações de vários íons na solução do solo (GREENWAY & MANNNS, 1980). Entretanto, Shibli et al (2001) observaram que a adição de P promoveu melhor regulação e absorção de macro e micronutrientes, neutralizando o aumento dos efeitos adversos da salinidade. Os mesmo autores concluíram que o P é o elemento chave para estudos de respostas fisiológicas de diferentes espécies de plantas a salinidade. Kaya et al. (2001) observaram deficiências de P e K em plantas de tomates submetidas a estresse salino, todavia essas deficiências foram corrigidas com aplicação adicional desses elementos via foliar.

Fisarakis et al. (2005) estudando o efeito da salinidade nas concentrações de nutrientes em videiras cultivadas em hidroponia, observaram que as concentrações de P no limbo e pecíolo foliar, assim como nas raízes aumentaram com a salinidade, enquanto as os teores de K e $\text{NO}_3\text{-N}$ decresceram em todas as partes da videira. López-Berenguer et al (2007) verificaram redução de nitrato e aumento de ácido fosfatase em plantas de brócolis mediante ao aumento das doses de NaCl.

Assim como em solos normais, o fornecimento de um nível nutricional satisfatório é necessário para maximizar a produção das culturas em condições salinas (CHAMPAGNOL, 1979). Ao estudarem o espinafre e alface em diferentes fases de crescimento submetidos em meio salino, Kaya et al. (2002) constataram que a suplementação com P e K pode reduzir os efeitos adversos da alta salinidade no crescimento e desenvolvimento fisiológico das plantas. Da mesma forma, Qadar (1998), estudando o efeito da aplicação de fósforo e potássio em diferentes genótipos de arroz

cultivados em solo sódico, observou que a adubação fosfatada não apenas promoveu o status de P e K nas plantas, como também reduziu a concentração de Na^+ na parte aérea, resultando em maior produção da cultura.

A aplicação foliar suplementar de fósforo e potássio resultou em aumento de matéria seca e nas concentrações de clorofila de cultivares de tomate produzido em sistema hidropônico submetidos à alta concentração de cloreto de sódio (KAYA et al., 2001).

O movimento do fósforo no solo difere conforme a textura do mesmo (GUSTAFSON, 1974), o pH do fertilizante aplicado (PAPADOPOULOS, 1999) e o pH do solo (ARGO & BIERNBAUM, 1996). O pH ideal para que o fósforo fique solúvel no solo é 6,5, mas é aceitável a faixa de 6,2 a 6,8, na qual ocorre maior disponibilidade de nutrientes (BURT et al., 1995).

As transformações e disponibilidade de P no solo e a produção das culturas em resposta a adição de fósforo apresentam grande diferença em solos salinos e solos sódicos. Observou-se aumento na disponibilidade de P no solo com os aumentos da CE e pH. Durante a recuperação de um solo sódico com gesso, houve uma diminuição do P extraível devido a sua conversão em compostos de Ca-P, menos solúveis. Em solos salinos, a disponibilidade de P é reduzida devido a maior retenção do fosfato solúvel, o efeito antagônico com Cl^- e SO_4^{2-} na absorção de P pela planta e restrição do crescimento radicular (RASHID, 2006). Já em solos salino-sódicos, independentemente da aplicação de corretivos, a adição de fósforo apresentam uma elevada disponibilidade (VITAL et al., 2005)

A adubação fosfatada é reportada como atenuante dos efeitos adversos da sodicidade e na sobrevivência, crescimento e produção das plantas. Os resultados obtidos por Qadar & Ansari (2006) mostram que o requerimento de P pelo arroz aumentou de acordo com o aumento da sodicidade. Na recuperação de solos alcalinos, Mirsa et al. (2007), avaliando a influência de corretivos e de lixiviação na disponibilidade de fósforo, observaram que acréscimo dos níveis crescentes de percentagens de sódio trocável aumentou o P extraído pelo método de Olsen. Os mesmos autores relataram que a aplicação de P em solos alcalinos influenciou na redução do pH. Já Yadav et al. (2002) avaliando o efeito de gesso e fósforo no crescimento de milho em solos sódicos, constataram que o pH do solo não foi alterado com aplicação de fósforo.

A adição de $4,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de P foi suficiente para a sobrevivência das mudas de arroz em solo com pH em torno de 8,0. No entanto os níveis de P $7,7 \text{ mg kg}^{-1}$, $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$, e $9,5 \text{ mg kg}^{-1}$ foram eficientes, restringindo os aumentos do potencial tóxico do Na nas raízes em pH 9,3, 9,8, e 9,9, respectivamente, proporcionando melhor produção (QADAR & ANSARI, 2006).

Acentuadas deficiências de fósforo são comuns e frequentemente estão associadas com deficiências de outros nutrientes. Para contornar essa deficiência, são utilizadas grandes quantidades de adubos fosfatados (BELTRÁN et al., 1998). As plantas adubadas absorvem, além do fósforo nativo, outros produtos da transformação do P e do fertilizante no solo. A presença de tais produtos depende da composição do adubo e das características químicas do solo, tais como: pH, teores de cálcio, ferro e alumínio (STEFANUTTI et al., 1994).

O ácido fosfórico tem sido amplamente utilizado nos últimos anos como fonte de P, principalmente na fertirrigação por microaspersão e por gotejamento (PAPADOPOULOS, 1999; ZANINI et al., 2007). Silva & Marouelli (2001) relatam que o ácido fosfórico utilizado como fertilizante tem a vantagem de reduzir o pH da água, reduzindo o risco de precipitação de carbonatos.

Nascimento et al. (2003) estudando a associação de adubos e fertirrigação em solos de origem calcária, verificaram que além de promover o aumento dos níveis de P, a fertirrigação tradicional, comumente utilizada a base de uréia, ácido fosfórico e cloreto de potássio, reduziu o pH do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Zanini et al. (2007), avaliando a distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico, esses autores verificaram que o aumento das doses de ácido fosfórico (90 e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5) proporcionou maiores teores de fósforo e maior acidificação do solo. Por outro lado, Oliveira et al. (2001) e Oliveira et al. (2004) analisando o uso de ácido fosfórico na correção da salinidade e sodicidade do solo, verificaram que as doses de H_3PO_4 não favoreceram a redução de pH do solo e sendo que os teores de P não diferiram da testemunha.

2.5 Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. é uma planta anual, da família das gramíneas, de clima tropical, com ciclo de aproximadamente 130 dias. Possui crescimento ereto e porte alto, podendo atingir quatro ou cinco metros de altura (SALTON e KICHEL, 1997). É originário, provavelmente, das savanas africanas,

apresentando capacidade de produzir grãos ou sementes em condições extremamente secas e em solos de baixa fertilidade, porém respondendo bem às adubações.

Em solos degradados por sódio trocável a aplicação de ácido sulfúrico e gesso provocaram maior crescimento e produção de biomassa seca de milho (LEITE et al., 2000). Essa situação indica a possibilidade da inclusão de áreas anteriormente irrigadas e, atualmente, sem nenhuma função agrícola em terras produtivas, isto é, exercendo função social e econômica. Entretanto, a salinidade pode reduzir a produção de massa verde do milho (STURM et al., 1998).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do ensaio

O ensaio experimental foi desenvolvido em telado pertencente ao Viveiro florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal no Centro de Saúde e Tecnologia Rural, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, localizado na região semi-árida do Estado da Paraíba, o local apresenta coordenadas geográficas: Latitude 17°01'28'' N e longitude 37°16'28'' W, a uma altitude de 242 metros. Segundo Köppen (Brasil, 1972) o clima é quente e seco (Bsh), com temperatura média variando de 23 °C (mínima) a 35°C (máxima).

3.2 Coleta e preparo do solo

O solo foi coletado nas mediações da Escola Agrotécnica de Sousa localizada na área correspondente ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no município de Sousa-PB. A altitude média do perímetro é de 235 m e apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude sul 6° 50' e longitude 38° 19' a oeste do meridiano de Greenwich. A região é considerada de clima semi-árido quente, do tipo Bsh da classificação de Köppen, ou seja, a evaporação é superior à precipitação, com período chuvoso coincidindo com os meses de janeiro a maio; a temperatura média anual é de 27 °C, com máxima de 38 °C e umidade relativa do ar 64% (DNOCS, 1997). Um estudo diagnóstico da salinidade realizado por Silva et al. (1997) mostrou que a área em questão apresenta problema de caráter salino-sódico com amplitudes de condutividade elétrica do extrato de saturação e percentagem de sódio trocável entre 3,9 e 10,7 dS m⁻¹ e 7,6 e 45,4 %, respectivamente.

O solo foi coletado na profundidade de 0-30 cm, após seco ao ar e destorroado, foi passado em peneira com malha de 2 mm, homogeneizado, e encaminhado para a caracterização química e física do material nos Laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Areia-PB.

3.3 Caracterização química e física do solo

A caracterização química da fertilidade (Tabela 1), constou da determinação dos valores de pH em água (1:2,5), dos conteúdos de fósforo adotando a solução extratora de Mehlich em 10 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA) e depois de 12 horas, realizando a

leitura em fotocolorímetro munido de filtro com comprimento de onda de 600 nm, numa alíquota de 5 mL da solução. Os teores de potássio e sódio foram determinados no extrato aquoso, utilizando fotômetro de chama munido de filtros com comprimento de onda, respectivamente de 766 e 589 nm. A matéria orgânica foi quantificada, depois de efetuar a oxidação por via úmida, com a solução de dicromato de potássio a 0,2 M ($K_2Cr_2O_7$) e titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,05 M Fe $[(NH_4)_2(SO_4)_2] \cdot 6 H_2O$. Os valores de cálcio foram determinados depois da extração com KCl 1 M e titulação com solução de EDTA a 0,0125 M; do magnésio realizado pela diferença entre a soma dos valores de cálcio + magnésio menos magnésio. As concentrações de alumínio mais hidrogênio ($H^+ + Al^{3+}$) foram obtidas por titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,025 M depois da extração feita pela solução de acetado de cálcio de 0,5 M a pH 7,0; as quantidades de Al^{3+} (acidez trocável) foram obtidas com o mesmo NaOH de 0,025 M em alíquotas extraídas KCl 1 M.

TABELA 1. Análise química do solo.

pH	H+Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CTC	K	P	MO	V
	----- cmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³		g kg ⁻¹	%
10,57	0,00	0,00	0,30	0,15	21,20	21,85	77,10	10,64	5,05	100

CTC capacidade de troca de cátions; MO matéria orgânica; V saturação por bases.

Quanto os teores dos micronutrientes ferro, cobre manganês e zinco (Tabela 2) foram determinados em alíquotas de uma solução extratora de Mehlich (HCl 0,05 M + H₂SO₄) na relação solo: extrator de 1:5, utilizando espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997). O boro foi quantificado através da extração em água quente e posterior determinação pelo método da curcumina (Tedesco et al.,1995).

TABELA 2. Concentração de micronutrientes no solo.

B	Fe	Cu	Mn	Zn
-----mg dm ⁻³ -----				
0,65	13,63	0,04	2,53	1,29

Os valores para fins de salinidade (Tabela 3) foram obtidos do extrato de saturação segundo recomendação da EMBRAPA (1997). A condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação foi obtida pela leitura em condutivímetro regulado a

temperatura padrão de 25°C. Os valores de cálcio + magnésio foram determinados por complexiometria com EDTA (0,0125M). O sódio e o potássio por espectrofotometria de chama. Os valores para carbonato e bicarbonato por acidimetria com H₂SO₄. Os cloretos por determinação volumétrica em com AgNO₃. Sulfatos pela medição em espectrofotômetro, da turbidez formada pela precipitação de sulfato pelo cloreto de bário.

TABELA 3. Análise do extrato de saturação.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S-SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻
-----mmol _c L ⁻¹ -----							
3,75	6,25	219,31	0,53	0,96	39,00	75,00	15,70
pH	CE (dS m ⁻¹)	PST %	RAS	Classificação			
10,16	20,30	58,92	98,08	salino-sódico			

CE: condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS: relação de adsorção de sódio; PST: percentagem de sódio trocável.

Quanto a caracterização física, a densidade do solo (ds) foi quantificada pelo método do cilindro, densidade de partículas (dp), obtida pelo método do balão volumétrico de 250 mL com água fervente (Blake, 1965). As determinações de areia, silte e argila foram realizadas empregando o método do hidrômetro de Bouyoucos (1951) modificado por (Day, 1965), usando 10 mL de NaOH 1 M como agente dispersante químico, em 40 g de terra fina seca ao ar. A porosidade total foi estimada pela expressão $Pt = (1 - ds/dp)100$ apresentada por Vomocil (1965), onde Pt é a porosidade total; ds é a densidade do solo e dp é a densidade das partículas. O grau de floculação (GF) foi obtido, com base nos valores de argila total (AT) e argila dispersa em água (Ada) através da expressão: $Gf = (AT - Ada)/AT \times 100$. O índice de dispersão (Id), pela expressão: $Id = 100 - Gf$.

Tabela 4. Atributos físicos do solo.

Atributos físicos	Valores
Areia (g kg^{-1})	612
Silte (g kg^{-1})	261
Argila (g kg^{-1})	127
Argila dispersa em água (g kg^{-1})	101
Grau de flocculação (%)	20,47
Índice de dispersão (%)	79,53
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,54
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,85
Porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,46
Classe Textural	Franco Arenosa

3.4 Delineamento experimental

O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições, distribuído num esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, correspondente a dois corretivos químicos (gesso agrícola e ácido sulfúrico); das duas fontes de fósforo (superfosfato simples e ácido fosfórico); e quatro doses crescentes de fósforo (0, 70, 140 e 210 mg dm^{-3}), totalizando 48 parcelas experimentais.

3.5 Quantificação e aplicação dos corretivos

A necessidade de gesso foi quantificada a partir da modificação do método de Schoonover sugerido por Chauhan & Chauhan (1978), utilizando-se a fórmula $Y = 1,1x - 0,52$, onde (Y) indica o valor estimado de sódio trocável (m.e./100g) e (x) a necessidade de gesso. Com base na correlação positiva com os valores de sódio trocável, proposta pelos autores supracitados, aplicou-se 34 g kg^{-1} de gesso (100 % NG).

Para determinação da dose de ácido sulfúrico um pré-ensaio foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Aplicaram-se doses crescentes de ácido sulfúrico (0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e $6,0 \text{ mL kg}^{-1}$ de solo). O solo utilizado corresponde ao mesmo empregado no experimento principal. Após a aplicação do H_2SO_4 o solo permaneceu incubado e durante 30 dias mantidos com umidade ao

nível de 70 % da capacidade de campo. Transcorridos 30 dias do período de incubação, aplicou-se uma lâmina extra de água, equivalente a duas vezes ao número de poros, e retiradas amostras do material de solo para análise do pH. Considerando o comportamento linear dos dados (Figura 1), adotou-se a dose de H₂SO₄ de 3,4 mL Kg⁻¹ de solo, devido a redução do pH para níveis em torno de 6,5, considerado o mais adequado para a maioria das culturas.

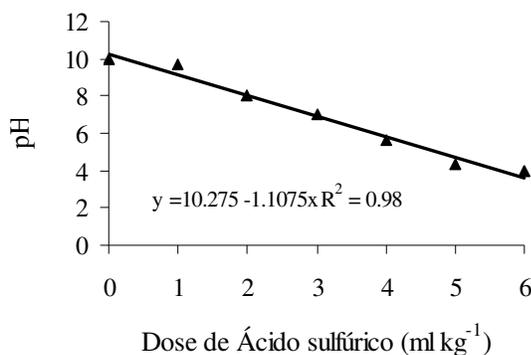


FIGURA 1. Valores de pH do solo em função de doses de Ácido sulfúrico.

Quantificadas as dosagens dos corretivos, o gesso e o ácido sulfúrico foram incorporados em 7 kg de solo e acondicionados em recipientes plásticos, permanecendo incubado por 20 dias. Durante esse período, diariamente foram aplicadas 300 mL de água não salina, compensando as perdas por evaporação, de modo que fosse mantido o conteúdo de água próximo a 70 % da capacidade de campo.

Ao término do período de incubação, procedeu-se a lavagem do solo, empregando uma lâmina de água extra, correspondente a duas vezes o volume total de poros. Logo em seguida, amostras de solo foram retiradas para determinação dos valores de pH, Ca⁺², K⁺, Mg⁺², SO₄⁻², Na, condutividade elétrica (CE), porcentagem de sódio trocável (PST) e dos atributos físicos: dispersão de argilas, grau de floculação, porosidade e densidade do solo de acordo com a metodologia descrita no item 3.3, recomendada pela EMBRAPA (1997).

3.6 Aplicação dos fertilizantes fosfatados

Numa etapa conseqüente foram aplicadas as doses de fósforo no solo, utilizando como fontes o fertilizante superfosfato simples e o ácido fosfórico, de forma que se

forneça o mesmo teor do íon P_2O_5 entre ambas às fontes de fósforo (Tabela 5). Por ocasião da aplicação do H_3PO_4 , procedeu-se a partir do preparo de uma solução de modo que acatasse a proporção de 0,92 mL do ácido para cada 5 mL de água destilada. Aplicando gradualmente conforme as dosagens de fósforo (Tabela 5). Em seguida, novamente o solo permaneceu incubado durante mais 20 dias, adotando-se a mesma forma de condução da etapa anterior. Cumprindo-se o prazo determinado de incubação, amostras de solos foram retiradas para determinação dos teores de P disponível, a partir de extrator Mehlich 1, e pH do solo.

TABELA 5. Quantidades de superfosfato simples e ácido fosfórico aplicado ao solo a partir do teor de fósforo.

Doses de P ($mg\ dm^{-3}$)	Fontes de fósforo	
	Superfosfato simples $g\ kg^{-1}$ solo	Ácido fosfórico $mL\ kg^{-1}$ solo
0	0	0
70	0,89	0,13
140	1,78	0,26
210	2,67	0,39

3.7 Adubação complementar, semeadura, medição de parâmetros agrônômicos e colheita

A adubação básica compreendeu da adição de nitrogênio e potássio no solo. A adubação potássica foi aplicada empregando-se o cloreto de potássio, na dosagem de $70\ mg\ kg^{-1}\ K_2O$ e a nitrogenada utilizando-se uréia, correspondendo a $60\ mg\ kg^{-1}$ de N, parcelada em duas vezes, metade na semeadura e a outra metade 30 dias após a emergência das plantas. Ambos os fertilizantes foram triturados, e aplicados via solução superficialmente, cobrindo toda área do solo.

No ato da semeadura aplicou-se de 10 sementes de milheto, (*Penissetum glaucum* L.), utilizada como planta teste para avaliar o efeito dos tratamentos na recuperação do solo. Oito dias após a emergência das plântulas e estabilização do processo germinativo foi feito o desbaste, mantendo às duas plantas mais vigorosa em cada parcela experimental Após 60 dias, computados a partir do desbaste das plântulas, foram tomadas medidas da altura das plantas (cm), diâmetro do colmo (mm), número de

folhas e em seguida foi realizada a colheita das plantas e avaliadas a produção de biomassa verde.

3.8 Análise da composição mineral

Para avaliação da composição mineral, colheram-se amostras das plantas, as quais foram acondicionadas em saco de papel e colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas, para a determinação da matéria pré-seca. As amostras pré-secas foram trituradas em moinho tipo Wiley com peneira de 1,00 mm de malha. As amostras moídas foram acondicionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas para a utilização nas determinações químicas. O nitrogênio foi obtido a partir do extrato por digestão sulfúrica, pelo método microkjodahl com adição de NaOH 1N e titulação com H₂SO₄. Os teores de Na⁺, Ca⁺² e K⁺ foram determinados através de fotometria de chama, os teores de P por espectrofotometria (MALAVOLTA et al., 1997).

3.9 Análise estatística

As variáveis estudadas foram submetidas á análise de variância, aplicando modelo de regressão polinomial para verificar o efeito das doses de fósforo, e teste de Tukey para as fontes de corretivos e fósforo (Ferreira, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do solo

4.1.1 Efeito dos corretivos nos atributos químicos do solo

Exceto os teores de potássio, todas as demais variáveis estudadas foram influenciadas significativamente pela aplicação dos corretivos (Tabela 6). O aumento dos valores de cálcio, de magnésio e a redução dos valores de condutividade elétrica, percentagem de sódio trocável e pH do extrato de saturação em relação aos valores iniciais antes da aplicação dos corretivos, resultando na melhoria das propriedades químicas, atenuando os efeitos nocivos da salinidade e sodicidade e alcalinidade do solo.

TABELA 6. Valores dos atributos químicos do solo antes a após a aplicação dos corretivos e lavagem.

Variável	Unidade	CIS	Corretivos	
			Gesso	Ácido sulfúrico
Ca	cmol _c DM ⁻³	0,30	11,21 a	10,28 b
Mg	cmol _c DM ⁻³	0,15	2,56 b	5,63 a
K	cmol _c DM ⁻³	1,97	0,26 a	0,26 a
Na	cmol _c DM ⁻³	21,20	1,88 b	5,38 a
SO ₄ ⁻²	cmol _c DM ⁻³	0,09	0,06 b	0,21 a
pH	-	10,6	7,1 a	6,0 b
CE	dS m ⁻¹	20,30	2,48 a	1,0 b
PST	%	89,75	11,81 b	24,97 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CIS: Condição inicial do solo.

A incorporação de ambos corretivos ocasionou uma acentuada acidificação do solo em relação ao valor de pH inicial do solo (Tabela 6). A aplicação desses corretivos em solo salino-sódico acarreta aumento na concentração de eletrólitos na solução do solo tendendo a diminuir o pH. Esta diminuição foi em parte, consequência da substituição do sódio pelo cálcio no complexo sortivo do solo e do deslocamento do sódio para camadas mais profundas (MORAES, 1973) e pela remoção dos íons de OH⁻ (COALE et al., 1984), como também pela precipitação do carbonato de cálcio devido à

reação entre íons carbonatos e cálcio. Além do incremento de íons de H^+ , provenientes da dissociação iônica da água e do ácido sulfúrico. Reduções do pH de solos salino-sódicos em função da aplicação de gesso foram relatados por (GOMES et al., 2000; BARROS et al., 2005; VITAL et al., 2005) e em função da adição de ácido sulfúrico (TERTULIANO et al., 2000; Leite, 2005).

A modificação verificada na concentração de sais, expressa pela condutividade elétrica da pasta saturada após a aplicação dos corretivos (Tabela 6), evidenciam a eficiência de ambos os corretivos na remoção dos sais solúveis e do sódio trocável do solo. Os tratamentos com gesso e ácido sulfúrico apresentaram valores de 2,48 e 1,0 dS m^{-1} , respectivamente. Os baixos valores de condutividade elétrica são justificados pela floculação das argilas decorrente da substituição do sódio adsorvido no complexo de troca pelo cálcio. Tal fato faz aumentar a permeabilidade dos solos resultando em rápida infiltração e redistribuição da água no solo favorecendo, assim, à lixiviação dos sais. Resultados similares sobre o efeito da aplicação do gesso e ácido sulfúrico no decréscimo da CE do solo foram também relatados por Zia et al. (2006).

A concentração de sódio do solo foi reduzida significativamente após a adição dos corretivos. Todavia, maiores decréscimos na percentagem de sódio trocável foram verificados com aplicação do gesso com relativa superioridade em relação ao ácido sulfúrico. Os valores da PST diminuíram de 89,75, condição inicial do solo antes da aplicação dos corretivos, para 11,81 com adição de $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ e 24,970 com H_2SO_4 . Essa considerável diferença entre a ação dos corretivos, pode ser atribuída ao fato do gesso ser fonte de cálcio, contribuindo assim, para uma maior eficiência das reações de troca com o sódio trocável do solo. Os dados obtidos neste estudo estão adversos aos observados Amezketa et al. (2005) ao avaliarem a eficácia do ácido sulfúrico e gesso na recuperação de um solo sódico. Esses autores observaram maior eficiência do H_2SO_4 indicado pela redução mais rápida de sódio trocável.

Aplicação dos corretivos resultou em uma grande variação nos valores dos teores trocáveis em relação aos valores obtidos antes da aplicação dos tratamentos. As concentrações de Ca^{++} aumentaram com o emprego dos corretivos, com superioridade estatística do gesso sobre o ácido sulfúrico. Tais resultados são compatíveis com os apresentados por Araújo et al., (2001) e Santos (2002) ao constatarem incrementos de Ca^{++} em solos salino-sódicos tratado com gesso.

Quanto aos aumentos dos níveis de magnésio, levando-se em consideração que ambos os corretivos não são fontes desse elemento, sugere-se que tal fato pode está

associado à solubilização de compostos que contenha Mg^{++} no solo. Comportamento semelhante foi obtido por Leite (2005) ao avaliar a eficiência de gesso e ácido sulfúrico em solos degradados por sódio. Desempenho inverso foi observado em relação aos teores de potássio, em virtude provavelmente do aumento das concentrações de Ca^{++} e Mg^{++} no solo, gerando uma relação de desequilíbrio.

A incorporação de ácido sulfúrico proporcionou acréscimos nos níveis de sulfato no solo. Por outro lado, adição de gesso não surtiu o mesmo efeito, em virtude talvez da menor solubilidade do gesso em relação ao ácido. Outra possível explicação para o fato seria a maior eficiência do gesso na troca do sódio pelo cálcio. Segundo Santos & Hernandez (1997), o íon sulfato tende a neutralizar o sódio da solução do solo, originando o sulfato de sódio decahidratado ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), que após a aplicação de uma lâmina de água, é lixiviado.

4.1.2. Efeito dos corretivos nos atributos físicos do solo

Analisando a Tabela 7, verifica-se que assim como na avaliação química, as propriedades físicas analisadas do solo sofreram alterações com a incorporação dos corretivos comparando-se com os valores iniciais do solo.

O emprego de ambos os corretivos promoveu incremento da flocculação das argilas, decorrente provavelmente da substituição do sódio adsorvido no complexo de troca pelo cálcio. Os valores relativos à dispersão de argilas diminuíram com a aplicação dos corretivos em relação à condição inicial do solo (Tabela 7). Os menores valores de dispersão foram observados com a adição do ácido sulfúrico, embora que, os dados apresentados neste estudo tenham mostrado menor eficácia do H_2SO_4 em relação ao gesso, na redução da PST do solo (Tabela 6).

Christiansen (1947), El-Swaify e Swindale (1968) e Loveday (1976) destacaram que a flocculação das argilas é mais sensível à variação na concentração salina da solução do que a PST. Ao aplicarem $5 t ha^{-1}$ de fosfogesso à superfície de um solo sódico, Agassi et al. (1990) atribuíram à melhoria física, com aumento da infiltração de água, ao acréscimo da concentração de eletrólitos na solução que promoveram maior flocculação do solo.

TABELA 7. Valores dos atributos físicos do solo antes e após a aplicação dos corretivos e lavagem.

Variável	Unidade	CIS	Corretivos	
			Gesso	Ácido sulfúrico
Grau de flocculação	%	20,47	56,75 b	89,76 a
Índice de dispersão	%	79,53	43,24 a	10,24 b
Densidade do solo	g cm ⁻³	1,54	1,37 b	1,49 a
Porosidade	m ³ m ³	0,46	0,48 a	0,44 b

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CIS: Condição inicial do solo.

Os dados obtidos neste estudo estão de acordo com os observados por Luque e Peinemann (1995) ao compararem os efeitos do gesso e do ácido sulfúrico sobre a expansão e a dispersão de solos vérticos. Esses autores concluíram que o ácido sulfúrico promoveu menor expansão da argila do solo que o gesso. Constataram também que a expansão está mais diretamente relacionada com o índice de argila do que com o nível de sodicidade dos solos. Comparativamente o solo com H₂SO₄ apresentou menor dispersão do que quando tratado com gesso.

Apenas a aplicação de gesso contribui para o aumento da porosidade do solo. Segundo Ferreira (1997) a aplicação de gesso em solo disperso por sódio aumenta a condutividade hidráulica, uma vez que, a substituição do sódio pelo cálcio na micela, reduz a espessura da dupla camada difusa, de forma que, a fração coloidal do solo, antes dispersa, agrega-se, restabelecendo a porosidade e melhorando a permeabilidade do solo. Morais et al (1997) reportam que solos com problemas de sodicidade quando tratados com corretivos químicos promovem a melhoria física, aumentando a porosidade. Verifica-se também que a aplicação dos corretivos promoveu uma redução da densidade do solo. Entretanto, com uma leve supremacia do gesso perante o corretivo ácido, decorrente provavelmente do maior efeito benéfico do gesso na porosidade do solo (Tabela 7).

4.1.3. pH do solo.

Com base nos resultados da análise de variância (Tabela 8) evidenciaram diferenças significativas do pH do solo ($p < 0,01$) com a aplicação dos corretivos, das

fontes de fósforo e suas respectivas doses. Efeitos significativos também foram observados pelas interações entre corretivos x fontes ($p < 0,05$), corretivos x fontes x doses ($p < 0,01$).

TABELA 8. Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de pH do solo em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.

Fator de variação	GL	Quadrado médio
		pH
Corretivos (C)	1	752,08**
Fontes de fósforo (F)	1	200,08**
Doses (D)	3	133,05**
C x F	1	5,33 ^{ns}
C x D	3	2,91 ^{ns}
F x D	3	17,36*
C x F x D	3	42,16**
Erro	32	4,93
Total	47	
CV (%)		3,47

ns, ** e * = Não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. CV = coeficiente de variação.

De modo geral, os empregos dos fertilizantes fosfatados associado aos corretivos resultaram na redução significativa do pH do solo, exceto referente ao superfosfato simples na presença de gesso (Figura 2 A). Para as demais situações os valores de pH adequaram-se linearmente em função das doses crescentes de fósforo (Figura 2).

Analisando a Tabela 9, verifica-se que independente da fonte, as aplicações das doses crescentes de fósforo no solo salino-sódico proporcionaram uma redução no pH. Quantitativamente ambas as fontes de adubo fosfórico apresentaram comportamento linear ($p < 0,01$). Segundo Haynes, (1986) as acidificações proporcionadas pelas fontes de adubos são provenientes de reações de transformação de amônio ou amida, liberando hidrogênio no processo de nitrificação, que promove a diminuição do pH do solo. Mirsa et al. (2007) avaliando a influência de corretivos e lixiviações na recuperação de o solo alcalino observaram que a adição de fósforo nesse solo, promoveu uma redução no pH.

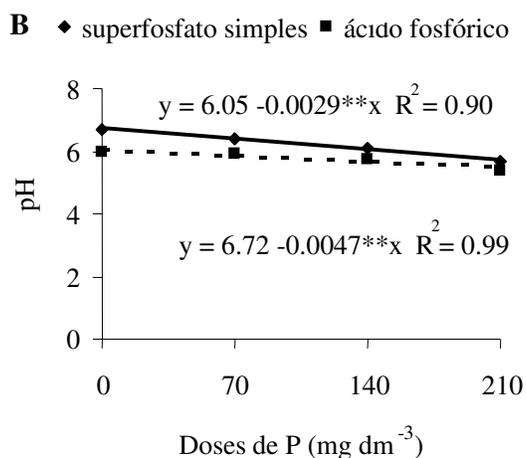
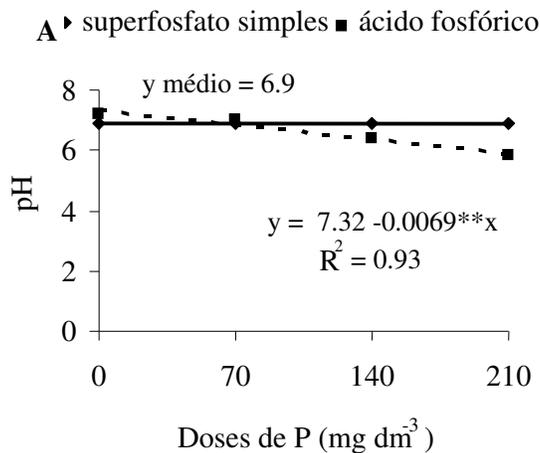


FIGURA 2. Teores de pH do solo tratado com gesso (A) e ácido sulfúrico (B) em função de fontes e doses de fósforo.

Apesar de que o superfosfato simples ser considerado um fertilizante de reação neutra, a aplicação deste reduziu significativamente o pH do solo, diminuindo 0,15 unidades de pH para cada 70 mg dm⁻³ de P aplicado no solo (Tabela 9). Braga & Amaral (1971) também observaram uma diminuição significativa do pH do solo, utilizando superfosfato triplo como fonte de fósforo, provavelmente, devido à acidificação do solo causada pela hidrólise do adubo, dando origem à formação do ácido fosfórico. Observa-se também (Tabela 9) diferença significativa nos teores do pH do solo em função das fontes de fósforo, onde, o tratamento com ácido fosfórico apresentou maior eficiência

na redução do pH em relação ao superfosfato simples. De acordo com Dominguez Vivancos, (1993) a utilização de H_3PO_4 , além de fornecer nutrientes para as plantas, libera o hidrogênio para o solo de forma mais rápida, sendo suas reações de grande interesse para reduzir o pH do solo. Reduções no pH devido à aplicação de ácido fosfórico também foram observadas por Zanini et al. (2007) e Silva & Marouelli, (2001).

TABELA 9. Teores de pH do solo em função das doses de fósforo em cada respectiva fonte.

Doses de P (mg dm ⁻³)	Fontes de fósforo	
	Superfosfato simples	Ácido fosfórico
0	6,8	6,6
70	6,7	6,4
140	6,5	6,1
210	6,3	5,6
Efeito	Linear **	Linear **
Média	6,6 a	6,1 b

Letras minúsculas idênticas na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

4.1.4. Disponibilidade de fósforo

Pelo resumo da análise de variância (Tabela 10) verificou-se ação significativa das fontes e doses de fósforo ($p < 0,01$) na disponibilidade de fósforo no solo. Observou-se também, que o teor de fósforo no solo respondeu significativamente entre os corretivos ($p < 0,05$). Apenas a interação entre fontes x doses de fósforo ($p < 0,01$) surtiu efeito significativo na concentração desse elemento.

TABELA 10. Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de fósforo no solo em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.

Fator de variação	GL	Quadrado médio
		pH
Corretivos (C)	1	141701,33*
Fontes de fósforo (F)	1	2159008,33**
Doses (D)	3	2980956,58**
C x F	1	468,75 ^{ns}
C x D	3	48044,72 ^{ns}
F x D	3	661867,94**
C x F x D	3	37328,80 ^{ns}
Erro	32	25373,97
Total	47	
CV (%)		22,89

ns, ** e * = Não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. CV = coeficiente de variação, GL = grau de liberdade.

Embora a análise de variância não conste efeito significativo da interação dos corretivos com as fontes de fósforo e suas respectivas doses, observaram-se uma maior disponibilidade de fósforo nas parcelas tratadas com gesso agrícola em relação os tratamentos na presença do ácido sulfúrico (Tabela 11). Contrariando o fato observado por Goedert & Lobato (1984), Hammond *et al.* (1986) e Sanzonowicz & Goedert (1986). Esses autores afirmam que o cálcio contribui para a menor solubilização do fósforo no solo, levando-se em consideração que o gesso é fonte de cálcio. Todavia, Vital *et al.* (2005) ao aplicarem doses crescentes de gesso em um solo salino-sódico obtiveram um aumento nos teores de fósforo disponível do solo. Por outro lado, Rashid (2006) durante a recuperação de um solo sódico com gesso, observou uma diminuição do P extraível devido a sua conversão em compostos de Ca-P, menos solúveis.

TABELA 11. Teor médio de fósforo na presença de cada corretivo.

Corretivos	Fósforo (mg dm ⁻³)
Gesso	75,01 a
Ácido Sulfúrico	64,14 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A adição de ambos fertilizantes fosfatados resultou em aumentos significativos nas concentrações de fósforo no solo (Figura 3). Verificam-se quanto à ação do fertilizante ácido no fornecimento de fósforo, os dados se ajustaram de forma quadrática. Enquanto o superfosfato simples observa-se efeito linear sobre os teores de fósforo disponível no solo com o incremento dos níveis do adubo. Comparando as fontes de adubo quanto à disponibilidade de fósforo no solo observa-se também, uma supremacia do ácido fosfórico em relação ao superfosfato simples. Tais resultados confirmam não só a eficiência do ácido fosfórico como fonte de fósforo, devido a maior solubilidade, mas também, sua maior eficácia na construção imediata de fertilidade de solos com baixo teor inicial deste nutriente. Zanini et al. (2007), avaliando a distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico, verificaram que o aumento das doses de ácido fosfórico (90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) proporcionou maiores teores de fósforo no solo.

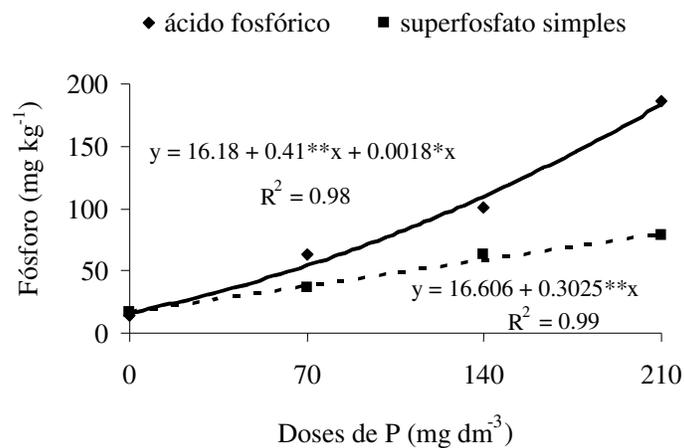


FIGURA 3. Teores de fósforo no solo em função de doses e fontes de fósforo.

4.2 Produção vegetal

Avaliando os valores da análise de variância (Tabela 12), verificam-se efeitos significativos de todas as características vegetais avaliadas quanto à ação dos corretivos químicos aplicados, exceto o diâmetro. Enquanto em função das fontes de fertilizantes fosfatados foram observadas diferenças apenas para os valores de massa seca, massa verde e número de folhas. Referente à aplicação das doses de fósforo constataram-se significância de 1% para os parâmetros massa seca, massa verde e diâmetro das plantas

de milheto. Somente a interação fontes x doses resultou em diferença significativa para altura ($p < 0,05$) e número de folhas ($p < 0,01$).

TABELA 12. Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores de massa seca (MS), massa verde (MV), altura (ALT), diâmetro (DM) e número de folhas (NF) em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.

Fator de variação	GL	Quadrado médio				
		MS	MV	ALT	DM	NF
Corretivo(C)	1	177,83**	1061,73*	2315,87**	9,07 ^{ns}	8,75**
Fonte (F)	1	103,16**	1242,87*	405,82 ^{ns}	19,1**	7,13**
Doses(D)	3	252,63**	1635,97**	216,12 ^{ns}	16,22**	1,75 ^{ns}
C x F	1	22,70 ^{ns}	194,60 ^{ns}	47,26 ^{ns}	6,68 ^{ns}	2,29 ^{ns}
C x D	3	38,29 ^{ns}	333,45 ^{ns}	115,25 ^{ns}	2,44 ^{ns}	2,04 ^{ns}
F x D	3	14,16 ^{ns}	516,16 ^{ns}	315,18*	0,74 ^{ns}	4,75**
C x F x D	3	14,64 ^{ns}	274,26 ^{ns}	74,94 ^{ns}	4,05 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Erro	32	322,08	191,45	105,88	2,45	0,89
Total	47	-	-	-	-	-
CV (%)		23,37	19,24	15,90	12,72	10,20

ns, ** e * = Não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Tukey. CV = coeficiente de variação; MS = massa seca; MV = massa verde; ALT = altura; DM = diâmetro; NF = número de folhas.

No geral, comparando-se o emprego dos condicionadores químicos, as parcelas tratadas com gesso apresentaram maiores valores médios dos componentes de produção vegetal (Tabela 13). Tal comportamento pode ser atribuído à melhoria física do solo, apresentando maior porosidade em função da incorporação do gesso (Tabela 7), proporcionando assim, um melhor desenvolvimento do sistema radicular, conseqüentemente numa melhor nutrição, resultando na maior produção das plantas. Segundo Pimentel (1999), quanto mais desenvolvido é o sistema radicular melhor será o desenvolvimento da parte aérea das plantas. Carvalho e Raij (1997) relatam que aplicação de gesso no solo seguida por lixiviação resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Além da ação atenuante dos efeitos nocivos da salinidade. Vital (2002) verificou que o gesso exerceu

efeito positivo sobre a disponibilidade de nutrientes e no crescimento inicial do cajueiro Anão precoce cultivado em solo salino-sódico. Observou também que o corretivo acelerou o aumento nos níveis de cálcio e fósforo do solo.

TABELA 13. Produção de massa seca, massa verde, altura, diâmetro e números de folhas das plantas de milho em função dos corretivos.

Corretivos	Parâmetros vegetais avaliados				
	Massa seca (g vaso ⁻¹)	Massa verde (g vaso ⁻¹)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Número de folhas
Gesso	13,45 a	76,60 a	71,65 a	12,85 a	9,70 a
Ácido sulfúrico	9,60 b	67,20 b	57,75 b	11,88 a	8,85 b

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

As produções de matérias verde e seca da parte aérea, diâmetro e o número de folhas das plantas apresentaram diferenças significativas quanto às fontes de fósforo (Tabela 14). O uso de ácido fosfórico resultou em maior peso tanto de matéria seca como de matéria verde da parte aérea do milho, bem como, a obtenção de um maior número de folhas. Provavelmente em resposta a presença de teores mais elevados de fósforo no solo observada nesse tratamento (Figura 3), proporcionando desse modo, um maior crescimento as plantas. Este efeito está diretamente associado à maior velocidade de liberação do nutriente pela maior solubilidade do ácido fosfórico comparado ao superfosfato simples, minimizando o efeito da competição solo/planta, pois segundo Novais e Smyth (1999), a fixação do fósforo pelos colóides do solo se dá de forma preferencial.

TABELA 14. Produção de massa seca, massa verde, altura, diâmetro e números de folhas das plantas de milho em função de fontes de fósforo.

Fontes de fósforo	Parâmetros vegetais avaliados				
	Massa seca (g vaso ⁻¹)	Massa verde (g vaso ⁻¹)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Número de folhas
Superfosfato simples	10,05 b	66,81 b	61,79 a	11,69 b	8,89 b
Ácido fosfórico	12,99 a	76,99 a	67,61 a	12,95 a	9,66 a

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

Para as produções da massa verde e seca representadas nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Em ambas as fontes de fósforo estudadas, todas as doses diferiram da testemunha. Os dados obtidos ajustaram-se linearmente indicando que as doses testadas não foram suficientes para atender a demanda das plantas. Quando comparados os resultados das fontes dentro de cada dose para as produções de massa vegetal verde e seca, observa-se diferença significativa para as fontes de fósforo testadas, caracterizado pela maior eficiência da fonte ácido fosfórico na produção de biomassa vegetal das plantas de milho. Estes resultados estão de acordo com os obtidos com Harger et al. (2007), exaltando que independente da fonte, o incremento de doses de P aumentou a produção de biomassa vegetal das plantas de milho.

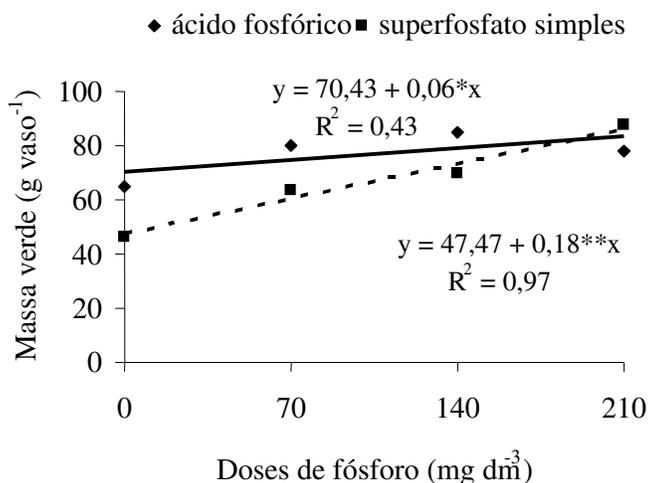


FIGURA 4. Produção de massa seca do milho em função de doses e fontes de fósforo.

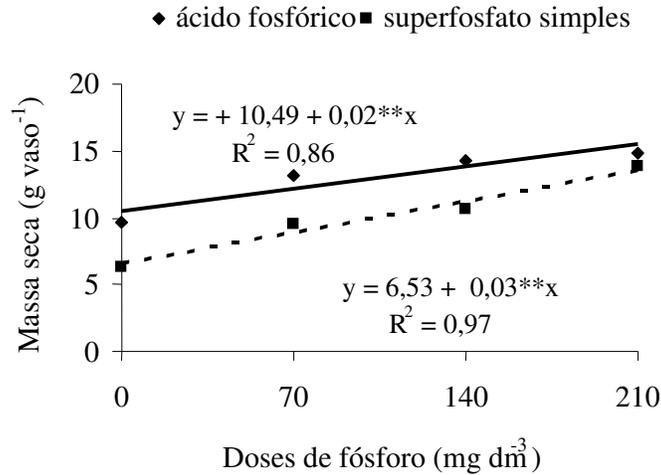


FIGURA 5. Produção de massa seca do milho em função de doses e fontes de fósforo.

Com relação à altura das plantas e o número de folhas obtidos a partir da fonte de ácido fosfórico, os dados não demonstraram tendência definida, o incremento das doses de fósforo não diferiu da testemunha, apresentando valor médio de 67,61 cm e 9,6, respectivamente. Todavia, a literatura relata que as plantas em geral utilizam com maior eficiência o fósforo quando é menor a disponibilidade, expressando assim a maior utilização do nutriente absorvido (SILVA & BRAGA, 1993; ALVAREZ et al., 2002) Embora não se verifique ocorrência significativa das doses de fósforo no número de folhas com o emprego da fonte ácida, o valor médio obtido com esse tratamento é ligeiramente superior, comparando-se com a outra fonte de fósforo.

Por outro lado, os valores médios de altura e número de folhas obtidos a partir do emprego do superfosfato simples apresentaram aumento linear com o incremento das doses do adubo (Figura 6 e 8). Tal fato pode ser explicado pela menor reatividade do superfosfato simples em relação ao ácido fosfórico, disponibilizando assim mais lentamente o P, dessa forma poderia favorecer uma maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas (NOVAIS & SMITH, 1999; LOPEZ, 1999).

Quanto ao diâmetro das plantas de milho, os dados se ajustaram linearmente, independente da fonte utilizada, com o aumento das doses de fósforo. Observa-se também ligeira superioridade do ácido fosfórico em relação ao emprego do superfosfato simples. Lana et al. (2004) avaliando o uso de diferentes fontes de fósforo não

produções de alface, observaram variação entre as fontes testadas e que na ausência do fósforo significativa redução no diâmetro das plantas.

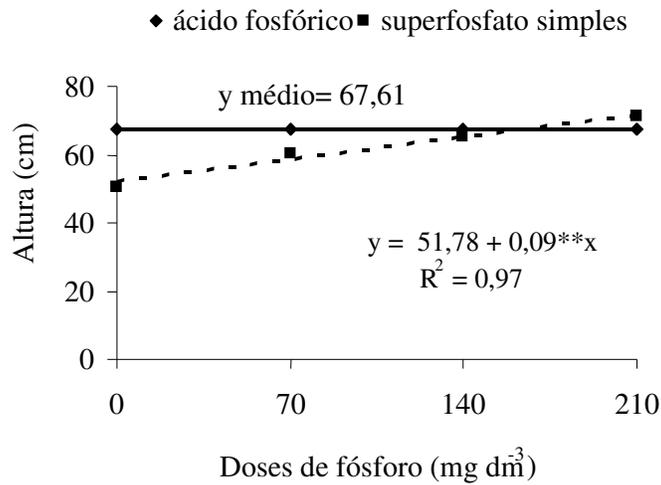


FIGURA 6. Altura das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.

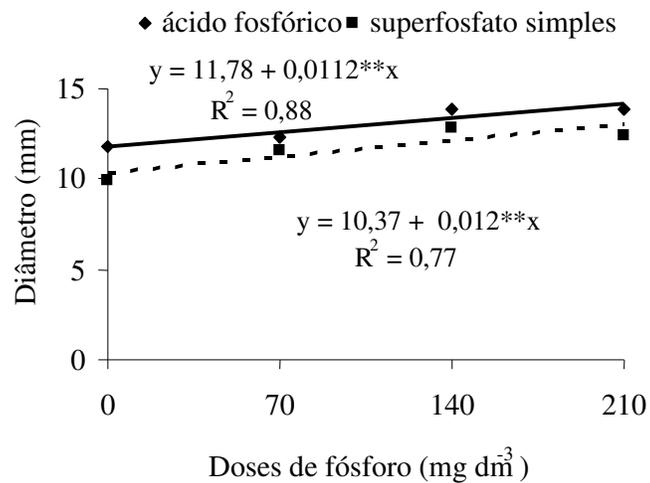


FIGURA 7. Diâmetro das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.

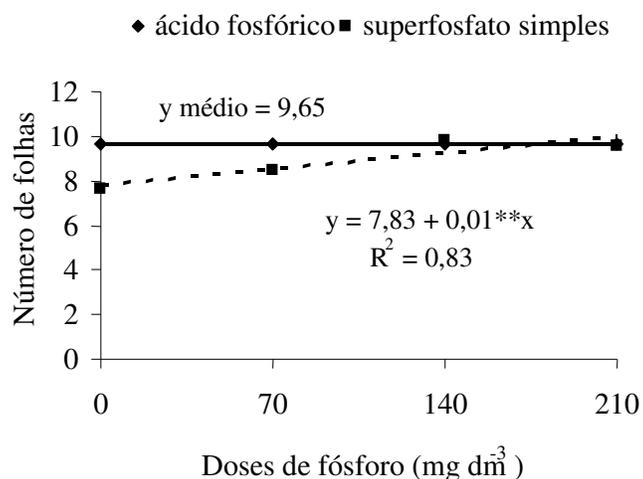


FIGURA 8. Número de folhas das plantas de milho em função de doses e fontes de fósforo.

4.3. Composição mineral

De acordo com a análise de variância descrita na Tabela 15, o emprego dos corretivos surtiu efeito significativo no acúmulo de fósforo, potássio e sódio nas plantas de milho. Quanto à aplicação das fontes dos fertilizantes fosfatados estudadas, constatou-se apenas diferença significativa para os valores de P e K. Em decorrência dos níveis crescentes de fósforos avaliados, apenas para o sódio não foram verificadas diferenças significativas. Efeitos significativos também foram observados pelas interações entre fontes x doses ($p < 0,05$) para os valores de P e corretivos x fontes x doses ($p < 0,01$) para os valores de P, K e Na.

Avaliando a Tabela 16, observa-se que as parcelas tratadas com ácido sulfúrico, apresentaram as maiores quantidades de fósforo e potássio acumulada da parte aérea das plantas de milho. Todavia, verifica-se também maior acúmulo de sódio nas plantas cultivadas no solo tratado com ácido sulfúrico, provavelmente devido aos elevados valores de Na remanescente no solo (Tabela 6) após ser tratado com o corretivo. A maioria das espécies que utiliza as rotas C_4 de fixação do carbono requerem íons sódio. Nestas plantas, o sódio parece ser vital para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação nas rotas C_4 , além de estimular o crescimento por meio de uma maior expansão celular e, ainda, substituir parcialmente o potássio como um soluto osmoticamente ativo (MARSCHNER, 1995).

O emprego dos corretivos não afetou significativamente as concentrações de nitrogênio nas plantas de milho. Segundo Bar-tal et al. (1991), em condições de salinidade, a absorção e o transporte do nitrato são limitados, devido ao efeito antagônico existente entre os íons nitrato e cloro. Por outro lado, a salinidade pode afetar, indiretamente, o processo de nitrificação (conversão do nitrogênio na forma amoniacal à forma nítrica) devido à diminuição do conteúdo de água decorrente do efeito osmótico ocasionado pelo excesso de sais (VAN HOORN et al., 2001).

TABELA 15. Resumo da análise de variância referente ao quadrado médio, e níveis de significância dos valores acumulados de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) nas plantas de milho em função dos tipos de corretivos, fontes e doses de fósforo.

Fator de variação	GL	Quadrado médio			
		N	P	K	Na
Corretivos (C)	1	252,08 ^{ns}	23848,07**	10778,41**	360,74**
Fontes de fósforo (F)	1	1752,08 ^{ns}	5992,7**	382,05*	2,69 ^{ns}
Doses (D)	3	7685,41**	2088,11**	545,44**	7,49 ^{ns}
C * F	1	52,08 ^{ns}	0,003 ^{ns}	329,91 ^{ns}	4,64 ^{ns}
C * D	3	2729,86 ^{ns}	275,45 ^{ns}	77,48 ^{ns}	7,78 ^{ns}
F * D	3	2918,75 ^{ns}	502,32*	204,64 ^{ns}	0,61 ^{ns}
C * F * D	3	618,75 ^{ns}	1142,67**	411,81**	25,29**
Erro	32	1729,16	166,16	83,62	5,06
Total	47	-	-	-	-
CV (%)		29,22	28,91	21,28	33,50

ns, ** e * = Não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Tukey. CV = coeficiente de variação

TABELA 16. Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio em plantas de milho em função dos corretivos.

Corretivos	Acúmulo de nutrientes (mg vaso ⁻¹)			
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Sódio
Gesso	140 a	22,30 b	27,98 b	3,97 b
Ácido sulfúrico	144,5 a	66,88 a	57,95 a	9,45 a

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

Comparando o efeito dos fertilizantes fosfatadas, a fonte ácida de fósforo resultou no maior acúmulo de P e K (Tabela 17). Quanto ao fósforo, esse efeito está diretamente associado à maior velocidade de liberação do nutriente pelo fosfato solúvel, minimizando o efeito da competição solo/planta (NOVAIS & SMYTH,1999). Em síntese, os tratamentos ácidos aplicados no solo salino-sódico, promoveram melhores condições para absorção desses elementos pelas plantas.

TABELA 17. Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio em plantas de milho em função de fontes de fósforo.

Fontes de fósforo	Acúmulo de nutrientes (mg vaso ⁻¹)			
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Sódio
Ácido fosfórico	148,33 a	55,76 a	45,78 a	6,95 a
Superfosfato simples	136,25 a	33,42 b	40,14 b	6,47 a

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

A quantidade de nitrogênio acumulada na parte aérea aumentou linearmente com a elevação dos níveis de fósforo, entretanto, tal efeito foi observado apenas para o emprego de superfosfato simples (Figura 9). Segundo Lahav (1995), o fósforo proporciona efeito antagônico em relação ao nitrogênio. Comportamento semelhante foi obtido por Dutra et al. (1995), avaliando a resposta do feijoeiro ao fósforo em dois níveis de umidade solo, esses autores observaram decréscimos nos teores foliares de nitrogênio de acordo com as doses de fósforo. Por outro lado, Santos et al. (2001), constatou um forte sinergismo entre o fósforo e o nitrogênio.

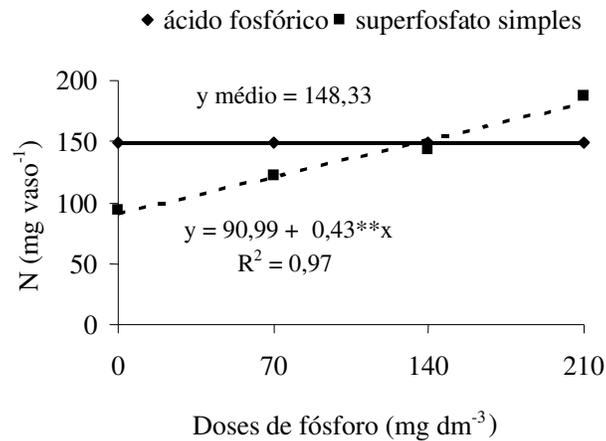


FIGURA 9. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.

Quanto ao fósforo acumulado na parte aérea das plantas de milho, ambos os adubos fosfatados apresentaram crescimento linear à medida que aumentaram as doses de P_2O_5 (Figura 10). Nas plantas fertilizadas com ácido fosfórico, o P acumulado foi superior que naquelas adubadas com superfosfato simples, provavelmente pela maior predisposição de P_2O_5 no solo em virtude da maior solubilidade da fonte ácida de fósforo (Figura 3). Em condições de salinidade, pode ocorrer uma redução da concentração de P no tecido das plantas devido aos efeitos de força iônica que diminuem a atividade do fosfato na solução do solo, da elevada adsorção do fosfato e da diminuição da solubilidade deste mineral com o aumento dos níveis de NaCl no solo. De acordo com Grattan & Grieve, (1999), o teor de fósforo nas plantas cultivadas em meio salino, depende da espécie, estágio fenológico da planta, concentração de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade.

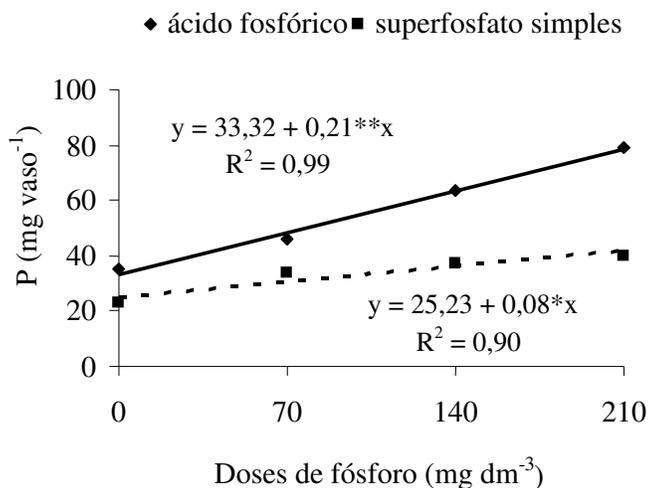


FIGURA 10. Acúmulo de fósforo na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.

Para as concentrações de potássio, foram observados acúmulos, de forma linear, desse elemento em função das doses de P₂O₅ fornecido a partir do ácido fosfórico, enquanto em relação ao emprego do superfosfato simples não foi observada tendência definida dos valores de K (Figura 11).

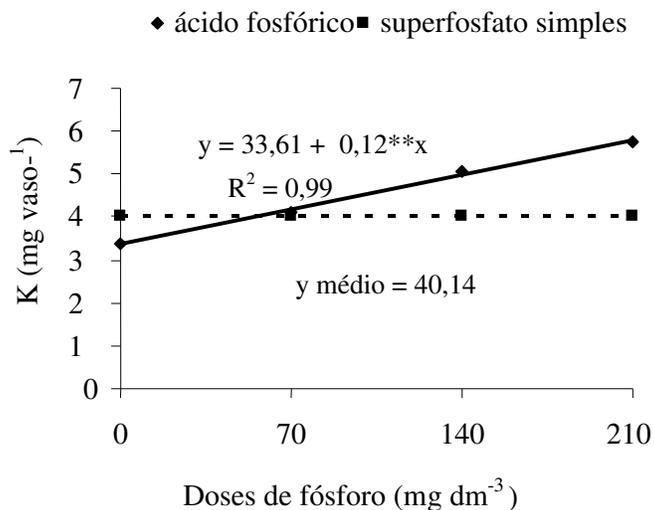


FIGURA 11. Acúmulo de potássio na parte aérea do milho em função de doses e fontes de fósforo.

O aumento da concentração de sódio do meio externo ocasiona a diminuição dos teores de potássio nos tecidos das plantas, pois o aumento da concentração de sódio no meio radicular pode inibir a absorção de potássio devido à relação competitiva entre estes cátions monovalentes (KAWASAKI et al., 1983). A substituição do sódio pelo cálcio, pode ter promovido aumento no fluxo citossólico de potássio nas raízes das plantas, resultado direto de trocas osmoticamente induzidas na permeabilidade do plasmalema, abrindo canais para o potássio (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). Qadar (1998), estudando o efeito da aplicação de fósforo e potássio em diferentes genótipos de arroz cultivados em solo sódico, observou que a adubação fosfatada não apenas aumentou o status de P e K nas plantas, como também reduziu a concentração de Na^+ na parte aérea, resultando em maior produção da cultura.

5. CONCLUSÕES

- Os corretivos promoveram a redução da salinidade e sodicidade do solo estudado.
- A aplicação dos corretivos promoveu melhoria física e química do solo.
- O ácido fosfórico foi mais eficiente que o superfosfato simples na disponibilidade de fósforo no solo.
- A aplicação de ácido fosfórico proporcionou maior produção vegetativa e acúmulo de nutrientes nas plantas de milho que o superfosfato simples.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Slope, aspect, and phosphogypsum effects on run off and erosion. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, p.1102- 106, 1990.

ALVAREZ, F. C. V. et al. Utilização de fósforo do solo e do fertilizante por tomateiro. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.167-172, jan./mar. 2002

AMEZKETA, E.; ARAGÜÉS, R.; GAZOL, R. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum, and Two Gypsum By-Products in Soil Crusting Prevention and Sodic Soil Reclamation. **Agronomy journal**, v.97, n. 2, p. 983-989, 2005.

ARAÚJO, J. L. de. et al. Recuperação de áreas degradadas por sais no semi-árido paraibano. Seleção de clones de cajueiro (*Anarcadium occidentale* L.). In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPB, 9. 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2001. p.161.

ARGO, W.R.; BIERNBAUM, J.A. The effect of lime, irrigation-water source, and water soluble fertilizer on root zone, pH, electrical conductivity, macronutrient management of container root media with impatiens. **Journal of American Society of Horticulture**, Alexandria, v.2, n.121, p.442- 52, 1996.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado).

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4, n.2, p.159-164, 2000

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. 2000. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.v. 4, n. 2, p.165-171, 2000.

BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. A irrigação no mundo. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; p.13-45, 2004.

BARROS, M de F. C.; et al. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.320-326, 2005.

BARROS, M. de F. C. et al. Avaliação de níveis de gesso para correção de sodicidade de solos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.1, n.1, p.17-21, 2006

BARROS, M. de F. C. et al. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 59-64, 2004.

BAR-TAL, A.; FEIGENBAUM, S.; SPARKS, D. L. Potassiumsalinity interactions in irrigated corn. **Irrigation Science**, v.12, p.27-35, 1991.

BATISTA, M. de. J. et al. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2 ed. Brasília: CODEVASF, 2002, 216p.

BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, E. I.; PASSOS, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 233-241, 1998.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D. da.; Pruski, F.F. (ed.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997. 252p.

BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. **Planta**, v. 191, p. 433 – 439. 1993.

BLAKE, G. E. particle Density In: BLACK, C. A. (ed): **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, Part. 1, p. 545 – 567 (Agronomy).

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. Piracicaba, 1999. 104f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 1999.

BOUYOUCOS, I. J. A. Recalibration of the hydrometer for making analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.43, p.434-437. 1951.

BRAGA, J. M.; AMARAL, F. A. Efeito de fontes de fósforo na variação de pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 17, p. 325-335, 1971.

BRASIL, Ministerio da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico, 15).

BRITO, L.K.F.L. **Avaliação da resposta in vitro de duas variedades de abacaxizeiro (Ananas comosus (L.) Merr) a um segundo cultivo na presença de NaCl**. 2002. 63f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BURT, C.; O'CONNOR, K.O.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 320 p.

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. VAN. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, v. 192, p. 37-48, 1997

CAVALCANTE, L. F. et al. Efeito do gesso agrícola sobre a lixiviação de sais de um solo irrigado. **Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água**, Areia, v.22, p.70-76, 2000a.

CAVALCANTE, L. F. **Sais e seus problemas nos solos irrigados**. Areia: CCA-UFPB. 2000. 72p.

CAVALCANTE, L.F.; SOUSA, R.P. de.; OLIVEIRA, F.A de., SOUZA, C.C. de., VIEIRA, J.E. Utilização de gesso agrícola e matéria orgânica, na água de irrigação, sobre a melhoria física e química de um solo afetado por sais. Curso em Manejo de Solo e Água, **Anais...** v.22, p.58-69, 2000.

CHAMPAGNOL, F. relationships between phosphate nutrition of plants and salt toxicity. **Phosphorus Agri.**, n. 76, p.35-43, 1979.

CHAUHAN, R. P. S.; CHAUHAN, C. P. S. A modification to Schoonover's method of gypsum requirement determination of soil. **Australian Journal of Soil Research**. v.17, n. 2, p, 367 – 370, 1978.

CHRISTIANSEN, J.E. Some permeability characteristics of saline and alkali soils. **Agr. Eng.**, St. Joseph, v. 28, n. 1, p.147-153, 1947.
Citadas na Introdução

COALE, F.J.; EVANGELOU, V.P.; GROVE, J.H. Effects of saline-sodic soil chemistry on soybean mineral composition and stomatal resistance. **Journal of environmental quality**. v.13, n 4, p.635-639, 1984.

COX, F. R. Factors affecting the availability of phosphorus in soils of the semi-arid. In: JOHANSEN, C.; LEE, K. K.; SAHRAWAT, K. L. (eds). **Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: ICRISAT, 1991, p. 43-46.

CRAMER, G.R.; EPSTEIN, E.; LAUCHLI, A. Effects of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. II.- Elemental analysis. **Physiologia Plantarum**. v. 81: p. 197-202. 1991.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLAKE, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965, Part. 1, p. 545 – 567 (Agronomy).

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. Piracicaba, 2004. 110p. Tese (Doutorado em irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. 2º Distrito de Engenharia Rural, 1997, sp. Mimeografado.

DOMINGUEZ VIVANCOS, A. **Fertirrigación**. Castelló-Madrid: Mundi-Prensa. 1993.

DUTRA et al. Resposta do feijoeiro ao P em dois níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, n. 2, p. 91-96, 1995.

EL-SWAIFY, S.A., SWINDALE, L.D. Hydraulic conductivity of some tropical soils as a guide to irrigation water quality. In 9º International Congress of Soil Science, 1968, Adelaide. **Anais...Adelaide**, v.1, p. 381-389, 1968.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 1997, 297p.

FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>. Acesso em 20 de novembro de 2007.

FASSENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química del suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2ª ed. San José, Costa Rica, IICA, 1987. 420p.

FERREIRA, P.A. 1997. Aspectos físico-químicos do solo. In Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, UFPB/SBEA, p. 37-67.

FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3 ed. Maceió: Universidade Federal de Alagoas: UFAL, 604p. 2000.

FISARAKIS, I. et al. Effect of salinity and rootstock on concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and nitrate-nitrogen in thompson seedless grapevine. **Journal of Plant Nutrition**, v 27, n. 12 p. 2117 – 2134, 2005.

FREIRE, M. B. G. dos S. et al. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RÂS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2004.

GHEYI, H.J. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T.S., Assis Jr.,R.N., Romero, R.E., Silva, J.R.C. (eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2000. p.329-346.

GOEDERT, W.J.; E. LOBATO. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOMES, E. M. ; GHEUI, H. R. E SILVA, E. F. F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.355-361,2000.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M.; Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulture**, v.78, n.1-4, p.127-157, 1998.

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulture**, Amsterdam, v.78, n.1-4, p.127-157, 1998.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Ann. Rev. Plant Physiology**, v. 31, p.149-190, 1980.

GUSTAFSON, C.D. Drip irrigation in USA. **In:___**. *Proceedings technical*. Denver: Sprinkler Irrigation Association, 1974. p.111-5.

HAMMOND, L.L.; CHEIN, S.H.; MOKWUNYE, A.V. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. **Advances in Agronomy**. v. 40, p. 89-140, 1986.

HARGER, N. et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

HAYNES, R. J.. Nitrification. *In: HAYNES, R. J. (ed). Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Madison: Academic Press, p. 127-165, 1986.

HELWEG, O. J. M.; ASCE, D. A.; ASCE, A. M. Estimating irrigation water quantity and quality. **Journal of Irrigation and Drainage**, v.157, p.175-188, 1980.

HOLANDA, J. S. de. **Manejo e utilização de áreas salinizadas do Vale do Açu**. Fortaleza. BNB/EMPARN, 2000. 95p.

KAYA, C.; HIGGS, D.; SAKAR, E. Response of two leafy vegetables grown at high salinity to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 12, p.2663-2676, 2002.

KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, v. 75, n.75-85, 1983

KAYA, C.; KIRNAK, H.; HIGGS, D. Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). **Journal of Plant Nutrition**, v 24, n. 9, p. 1457 – 1471, 2001.

KAYA, C.; KIRNAK, H.; HIGGS, D. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (nacl) salinity. **Journal of Plant Nutrition**, p. 24, p.2, p.357-367, 2001.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Uso do Milheto como planta forrageira**. Disponível em: < <http://www.cnpqg.embrapa.br/publicações/divulga/GCD46.htm>> acesso em 09 outubro. 2007.

LACERDA, C. F. **Efeitos da salinidade no desenvolvimento e composição mineral do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e utilização do Ca²⁺ para minorar tais efeitos**. Fortaleza, 1995. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, UFC.

LACERDA, C. F.. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiros submetidos a estresse salino**. Viçosa, MG: UFV,

2000, 163p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa) – 2000.

LACERDA, F. C. de et al. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n.2, p.258-263, 2006.

LAHAV, E. Banana nutrition, In: OWENS, S. **Bananas and plants**. London: Chapman e Hall, p.258-316, 1995.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; NASCIMENTO, M. **Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura**: Uma Abordagem Mínero-Química- Metalúrgica, CETEM, 2003 / Publicações / Série Estudos e Documentos no 53.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Prado, C.H.B.A. e Franco. A.C. São Carlos, Rima, 2000. 533p.

LEITE, E. M. et al. Efeito de corretivos no crescimento de plantas em solo salino-sódico.

In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2000, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2000. p.142.

EGEIZA MOREIRA LEITE. **Utilização de corretivos químicos em solos degradados por sódio usando milho (*Pennisetum americanum* L.) como planta teste**. Areia – PB,

Centro de Ciências Agrárias, UFPB, abril de 2005. 62 p.il. Dissertação. Programa de Pós- Graduação em Manejo de Solo e Água.

LOPEZ, A. S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H., **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.65-66.

LÓPEZ-BERENGUER, C. et al. Nitrogen, phosphorus, and sulfur nutrition in broccoli plants grown under salinity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, n.11, p.1855-1870, 2007.

LOVEDAY, J. Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a sodic clay soil. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, v. 14, n. 3, p. 361-371, 1976.

LUQUE, JL; PEINEMANN, N. Effects of amendments on the spatial change and volumetrics of vertic horizons. **Turrialba**, Trelew, v.45, n.3-4, p.114-119, 1995.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. Academy, New York, 889 p. 1995

MCBRIDE, M.B.; BAVEYE, P. Diffuse double-layer models, long-range forces, and ordering in clay colloids. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1207-1217, 2002.

MIRSA, S. M.; TIWARI, K. N.; SAI PRASAD, S. V. Reclamation of alkali soils: influence of amendments and leaching on transformation and availability of phosphorus, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 7-8, p. 1007-1028, 2007.

MIYAMOTO, S.; PRATHER, R.J.; STROEHLEIN, J.L. Sulfuric acid and leaching requirements for reclaiming sodium-affected calcareous soils. **Plant Soil**, v. 43, p. 573-585, 1975.

MORAES, J. F. V. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de oxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia. Brasília, v. 8, p.93-101, 1973.

MORAIS, C. D.; CAVALCANTE, L. F.; ARRUDA, N. T. **Ação do gesso agrícola sobre algumas propriedades físico-hídricas de um solo irrigado**. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Areia, v.17, p.5-16, 1997.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant and Cell Environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.

NASCIMENTO, I. B. de et al. Avaliação de fontes de adubos aplicados convencionalmente e via fertirrigação, em solo de origem calcária, durante o desenvolvimento inicial do meloeiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 16, n.1-2, p. 51-55, 2003.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV-DPS, 1999. p.62-64.

OLIVEIRA, F P de et al. Uso do ácido fósforico como corretivo da salinidade-sodicidade do solo. **In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 2004, Santa Maria-RS.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D. M.; FRAZÃO, J. E. M. Efeito de doses de gesso e ácido fosfórico na alteração de propriedades químicas de um solo Salino-Sódico. **In: IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB**, 2001, João Pessoa -PB. IX Encontro de Iniciação Científica da UFPB. João Pessoa - PB : Editora Universitária da UFPB, 2001. p. 76.

OLIVEIRA, L. B. de et al. Interferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1477-1486, 2002.

PAPADOPOULOS, I. Nitrogen and phosphorous fertigation of tomato and eggplant. **Proceedings of the HIS**, Belgium, 1999. p.102-10.

- PIMENTEL, N. S. **Calcário o multiplicador de pastagem. Panorama rural**, São Paulo, v.1, n.4, p.59-2, 1999.
- QADAR, A. Alleviation of sodicity stress on sice genotypes by phosphorus fertilization. **Plant and Soil**, v. 20, n. 3, p. 269-277, 1998.
- QADAR, A.; ANSARI, Z. M. A. Phosphorus requirements of rice grown in soils with different sodicity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n. 12, p. 2105 – 2117, 2006.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p
- RAIJ, V.B. Reações de gesso em solos ácidos. **In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura**, 2., Uberaba, 1992. São Paulo: IBRAFOS, 1992. p.106-119.
- RAMIREZ, H.; RODRIGUEZ, O.; SHAINBERG, I. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. **Soil Science**, Baltimore, v.164, p.351-357, 1999.
- RASHID, A. Soil Salinity and Associated Nutrient Constraints in Indian Subcontinent. **In: 18th World Congress of Soil Science**. Philadelphia, Pennsylvania, USA, July 9-15, 2006.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para a produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 48).
- SADIQ, M. el al. Amelioration of Saline-Sodic Soils with Tillage Implements and Sulfuric Acid Application. **Pedosphere**, v. 17, n.(2), p.182-190, 2007.
- SADIQ, M. et al. Appropriate land preparation methods and sulphuric acid use for amelioration of solt affected soils. **Pakistan Journal of Agronomy**, Hafizabad, v.2, n.3, p.138-145, 2003.
- SAMENI, A. M.; KASRAIAN, A. Effect of agricultural sulfur on characteristics of different calcareous soils from dry regions of Iran. I. disintegration rate of agricultural sulfur and its effects on chemical properties of the soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. V. 35, n.9-10, p. 1219-1234, 2004.
- SALTON, J.C.; KICHEL, A.N. **Milheto** – Alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. Dourados: EMBRAPA. 1997. Folheto.
- SANTOS, I. P. A. dos. et al. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de Braquiarião e amendoim forrageiro consorciados. 1. Rendimento de matéria seca da parte aérea e da raiz. **Ciência Agrotécnica**. , Lavras, v.25, n.5, p. 1206-1215, 2001.
- SANTOS, J. G. R. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. Campina Grande – PB: [s.n.t.], 2000. 171p.

SANTOS, M. F. G. dos. **Recuperação de um solo sódico**: efeito do gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. 2002. 95f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB.

SANTOS, R. V. dos.; HERNANDEZ, F. F. F. Recuperação de solos afetados por sais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p.319-361.

SANTOS, R. V. dos.; TERTULIANO, S. S. X. Crescimento de espécies arbóreas em solo salino-sódico tratado com ácido sulfúrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.239-242, 1998.

SANTOS, R.V. dos. **Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (*Vigna unguiculata* (L) Walp)**. 1995. 120f. Dissertação Mestrado. ESALQ, Piracicaba.

SANZONOWICZ, C. M.J. GOEDERT. Uso de fosfatos naturais em pastagens. Embrapa-CPAC, Planaltina, 33 p. 1986. (Circular técnica 21).

SHAINBERG, I. Use of gypsum on soils: A review. **Soil Science**, v. 9, p. 73-82, 1989.

SHIBI, R. A. et al. Increased phosphorus mitigates the adverse effects of salinity in tissue culture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n.3-4, p.429-440, 2001.

SILVA FILHO, S. B. et al. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solos pela irrigação. **Revista Irriga**. Botucatu, v. 5, n. 2, p. 112-125, 2000.

SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; COSTA, P. H. A.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.15, p.99-105, 2003.

SILVA, J.T.A.; BRAGA, J.M. Influência de características físicas e químicas sobre o fator capacidade-tampão de fósforo em Latossolos do Estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.41, p.575-583, 1993.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. Fertirrigação em hortaliças. **ITEM**, Brasília, v.52, p.45-8, dez. 2001.

SILVA, Ê.F. de F. e; BARRETO, A.N.; GHEYI, H.R.; BEZERRA, J.R.C. Caracterização dos problemas de salinidade dos solos da Estação Experimental da Embrapa-Algodão em São Gonçalo, PB. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Campina Grande: UFPB/SBEA. Anais... 1997. CD-Rom

SIQUEIRA, E. C. da; **Crescimento e produção do algodoeiro colorido marrom escuro CNPA 2001/26 sob estresse salino**. Campina Grande, 2003. 57f. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

SOLIMAN, M. S.; SHALABI, H. G.; CAMPBELL, W. F. Interaction of salinity, nitrogen and phosphorus fertilization on wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 7, p. 1163-1173, 1994.

SOUSA, R. A. de: **Efeito da salinidade e da composição iônica da água de irrigação sobre o desenvolvimento de plantas de feijão-de-corda cv. Pitiúba**. Fortaleza, 2006. 87f. Dissertação. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

STEFANUTTI, R.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E. Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 1, p. 105-112, 1994.

STURM, C. E. P.; TAKAKI, M. P.; PEREIRA, M. G. Influência da salinidade em culturas de Feijão, Milheto e milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 1998. 412p.

TANJI, K.K. Agricultural salinity assessment and management. SCE. **Manual and reports on Engineering Practice**, n.71, 1980, 614p.1990.

TERTULIANO, S. S. X. et al. Efeito dos corretivos na disponibilidade de nutrientes e no crescimento de plantas em solo salino-sódico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2000, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2000. p.143.

VAN HOORN, J. W.; KATERJI, N.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Effect of salinity on yield and nitrogen uptake of four grain legumes and on biological nitrogen contribution from the soil. **Agricultural Water Management**, v.51, p.87-98, 2001.

VERMA, S, K.; SHARKA, O. P. Growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) in black alkali soils as influenced by method of gypsum application. **Indian Journal of Agriculture Science**, v. 70, n. 11, p. 791-793, 2000.

VIANA, A. P. et al. Teores de Na, K e Ca em porta-enxertos de videira solução salina. **Revista Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p.187-191, 2001.

VITAL, A. de. F. M. **Efeitos do gesso e do fósforo na disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento inicial do cajueiro em solo salino-sódico**. 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB.

VITAL, A.de. F. M. et al. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.30-36, 2005.

VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Wisc. American Society of Agronomy, 1965. Pt 1, p.299-314.

YADAV, V.; CHAND, T.; TOMAR N. K. Effect of phosphorus and gypsum on growth of pearl-millet in sodic soils. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 50, n. 3, p. 298-302, 2002.

ZANINI, J. R. et al. Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.1, p.180-193, 2007.

ZIA, M. H. et al. Comparison of sulfurous acid generator and alternate amendments to improve the quality of saline-sodic water for sustainable rice yields. **Journal Paddy and Water Environment**. v. 4, n. 3, p.153-162, 2006.

ZIA, M. H. et al. Effectiveness of Sulphuric Acid and Gypsum for the Reclamation of a Calcareous Saline-Sodic Soil Under Four Crop Rotations. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, n.4, p. 262–269, 2007.