**CORREÇÃO DE UM SOLO SALINO-SÓDICO E ABSORÇÃO DE
NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO VIGNA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**

RIVALDO VITAL DOS SANTOS
Engenheiro Agrônomo
Mestre

Orientador: Prof. Dr. Takashi Muraoka

**Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Agronomia - Área de
Concentração: “Solos e Nutrição de Plantas”**

PIRACICABA
Estado de São Paulo
Outubro-1995

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Divisão de Biblioteca e Documentação - CAMPUS "LUIZ DE QUEIROZ"/USP

Santos, Rivaldo Vital dos

Correção de um solo salino-sódico e absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Piracicaba, 1995.
120p. ilustr.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Calagem 2. Corretivo agrícola 3. Feijão - Nutrição 4. Nutriente em feijão - Absorção 5. Solo salino-sódico I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.821
635.652

**CORREÇÃO DE UM SOLO SALINO-SÓDICO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES
PELO FEIJOEIRO VIGNA (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.)**

RIVALDO VITAL DOS SANTOS

Aprovada em 7. 12. 95

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Takashi Muraoka	USP/CENA
Prof. Dr. Antonio Enedi Boaretto	USP/CENA
Prof. Dr. Jacob Silva Souto	UFPB/CSTR
Dr. José Raimundo Natividade Ferreira Gama	EMBRAPA/CPATU
Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmelo	USP/ESALQ

Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

Orientador

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO	vii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O Gesso em Solos Salinizados	3
2.1.1. Corretivo de Propriedades do Solo	3
2.1.2. Efeito na Produção Vegetal	13
2.2. Utilização de Nitrogênio, Fósforo e Ácidos em Solos Afetados por Alcalinidade	17
2.2.1. Nitrogênio	17
2.2.2. Fósforo	20
2.2.3. Ácidos	21
2.3. Influência da Salinidade e Sodicidade nas Plantas.....	22

3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1.	Localização do Ensaio.....	26
3.2.	Solo: Localização, Amostragem e Caracterização	26
3.3.	Instalação do Ensaio: Aspectos Gerais	29
3.4.	Aplicação do Corretivo	29
3.5.	Delineamento Experimental.....	30
3.6.	Condução do Ensaio	31
3.7.	Obtenção dos Resultados	32
	3.7.1. Análises Químicas das Plantas.....	32
	3.7.2. Análises Isotópicas	32
	3.7.3. Análises Químicas da Terra	33
3.8.	Parâmetros Avaliados e Análise Estatística	33

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1.	Análise Química da Terra Antes e Após a Aplicação do Gesso	34
4.2.	Determinações Químicas nas Soluções Eluídas do Solo.....	42
4.2.1.	Análises Químicas.....	42
4.2.2.	Análises Isotópicas	52
4.3.	Efeito Sobre as Plantas	55
4.3.1.	Produção de Material Vegetal Seco.....	55
4.3.2.	Absorção de Nutrientes.....	58
4.3.2.1.	Macronutrientes	58
4.3.2.2.	Micronutrientes.....	76
4.3.3.	Aproveitamento de Nitrogênio, Fósforo e Enxofre	89
5.	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

**À minha querida
esposa *ADRIANA*
pelo carinho e amor
desde nossa união**

Dedico

**Ao meu filho *LÉO*
por seu sorriso inocente**

Ofereço

Homenagem especial:

**Ao meu querido pai *ANTONIO VITAL
DOS SANTOS*, pelos seus 80 anos
de lucidez.**

AGRADECIMENTOS

O autor expressa sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Takashi Muraoka pela atenciosa orientação, amizade, apoio e oportunidade à realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Antonio Enedi Boaretto pela colaboração e maturidade intelectual mostrada durante a discussão da tese;

Ao meu irmão Roberto da costa Vital pelo estímulo, incentivo e apoio à realização deste trabalho;

A Universidade Federal da Paraíba pela oportunidade concedida;

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela acolhida;

A CAPES - PICD pelos incentivos financeiros;

Aos professores Paulo de Melo Bastos, Olaf Andreas Bakke, Jacob Silva Souto e Jivaldo Oliveira Silva pela colaboração;

Aos professores Leonardo, Roque, Durval, Igo Lepsch, Bertoldo, Vitti, Klaus, Quirino e Paulo Haag (in memorian) pelos ensinamentos;

Aos colegas Assis Júnior, Gama, Reynaldo, Cabral, Viseldo, Gilberto Ribeiro, Gilberto Brito, Newton, Cravo, Marciano, Washington e Simplício pela amizade;

As laboratoristas Mara, Sandra, Cleusa e Henriqueta; ao técnico João Salvador e à secretária Cidinha pela ajuda prestada;

Ao amigo Francisco Martinho e aos técnicos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo pelo auxílio,

Ao Bom Deus pela inspiração e equilíbrio.

CORREÇÃO DE UM SOLO SALINO-SÓDICO E ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJOEIRO VIGNA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Autor: RIVALDO VITAL DOS SANTOS

Orientador: PROF.DR. TAKASHI MURAOKA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito do gesso, nitrogênio e fósforo na correção de um solo salino-sódico do perímetro irrigado de São Gonçalo (PB) e na disponibilidade de nutrientes deste solo à cultura do feijão vigna.

O experimento, em casa de vegetação, foi conduzido em duas fases. Na primeira, foi testada a influência das doses de gesso (6 e 12 g/kg de terra) e dos períodos de eluições (6, 12, 18, 24 e 30 dias após a aplicação do gesso) na lixiviação de cátions, ânions e sais. Utilizou-se sulfato de cálcio marcado com ^{35}S para quantificar sua lixiviação. Na segunda fase, estudou-se o efeito das doses de nitrogênio (0, 30 e 60 mg/kg) e de fósforo (0, 100 e 200 mg/kg de terra), em cada dose do corretivo e marcados com ^{15}N ou ^{32}P , sobre a disponibilidade de nutrientes e no aproveitamento de nitrogênio, fósforo e enxofre pela cultura.

A aplicação do gesso, seguida de percolações de água, reduziu o pH, a CE, a saturação por sódio, os teores de fósforo e cloro, e aumentou os teores de sulfato e a relação Ca/Mg do solo salino-sódico, mas, após o cultivo do feijoeiro, os teores totais de sais e de sódio no solo tenderam a aumentar. A dose de 12 g/kg do corretivo aumentou a CE, os totais de sais dissolvidos, e os teores de sódio, cálcio, magnésio, sulfato e cloreto na solução eluída do solo, especialmente até 18 dias após aplicação do corretivo. O percentual de sulfato

de cálcio marcado lixiviado variou entre 34 e 40%, entretanto, a maior dose do corretivo reduziu a produção de material vegetal seco e os conteúdos de N, P, Ca, K, Mg, S, Cu, Mn e Zn na parte aérea do feijoeiro, assim como o aproveitamento de P e S, mas aumentou a concentração e o conteúdo de Fe. A aplicação dos níveis de nitrogênio, independentemente das doses de gesso, aumentou principalmente as concentrações e as quantidades totais absorvidas de N, P, Mg, Fe, Cu, Mn e reduziu as de K, Ca e S na parte aérea do feijoeiro. O Zn não apresentou tendência definida. Quanto aos níveis de fósforo aplicados, aumentou as concentrações e os conteúdos de N, P, Ca, Mg, Fe, Cu e Mn e reduziu a de Zn, mas não mostrou tendência clara quanto aos teores de K e S na parte aérea das plantas. Para qualquer situação, a aplicação conjunta de nitrogênio e fósforo resultou numa maior absorção de nutrientes.

AMENDMENT OF A SALINE-SODIC SOIL AND NUTRIENT UPTAKE BY VIGNA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

**Author: RIVALDO VITAL DOS SANTOS
Adviser: PROF.DR. TAKASHI MURAOKA**

SUMMARY

The objective of this research was to verify the effect of gypsum, nitrogen and phosphorus on the amendment of a saline-sodic soil from the irrigated perimeter of São Gonçalo (Paraíba State) and on nutrients availability to vigna bean grown in this soil.

The experiment was carried out in greenhouse condition in two phases. In the first, the effect of the rate of gypsum (6 and 12g/kg soil) and elution period (6, 12, 18, 24, and 30 days after gypsum application) on the leaching of cation, anion and salts. Calcium sulphate labelled with ^{35}S was utilized to quantify sulphate leaching. In the second phase, the effects of nitrogen (0, 30, and 60 mg/kg soil) and phosphorus dosis (0, 100 and 200 mg/kg soil), in each amender rate and labelled with ^{15}N or ^{32}P , on the availability of nutrients and utilization of nitrogen, phosphorus and sulfur by the crop studied.

The application of gypsum followed by the water percolations reduced the pH, EC, sodium saturation, phosphorus and chlorine contents and increased the sulphate and of Ca/Mg ration of the saline-sodic soil. However, the salts and sodium contents tended to increase after the bean cultivation. The rate of 12 g/kg soil of the amender increased EC, total dissolved salts, and sodium, calcium, magnesium, sulphate and chlorine content in the eluded

solution, mainly up to 18 days after application of amender. The calcium sulphate leached ranged from 36 to 40%. The higher rate of amender, however, reduced the dry matter yield and N, P, Ca, K, Mg, S, Cu, Mn and Zn amount in the bean plants, and P and S utilization as well, but the content and amount of Fe increased. The applied nitrogen rate increased, irrespective to the gypsum rate, mainly the N, P, Mg, Fe, Cu, Mn content and amount taken up and reduced those of K, Ca and S in bean plants. The Zn did not present definide tendency. With regard to the rate of applied phosphorus there was increase in N, P, Ca, Mg, Fe, Cu and Mn uptake and decrease on Zn content but there was not clear tendency on K and S uptake in bean plants. For any situation, the combined application of nitrogen and phosphorus resulted in greater nutrients uptake.

1. INTRODUÇÃO

A salinidade e a sodicidade são condições do solo que ocorrem principalmente em regiões áridas e semi-áridas da Terra, as quais situam-se entre as latitudes 10° e 40°, em ambos os hemisférios. Segundo VOSE (1982), a proporção de terras que se localiza nessas áreas perfazem aproximadamente 55% da área total, das quais 900 milhões de hectares são aráveis. De um modo geral, os solos afetados por sais ocupam uma superfície estimada de 952,2 milhões de hectares, constituindo 7% da área total das terras ou 33% dos solos potencialmente aráveis do mundo (GUPTA & ABROL, 1990).

No Brasil destaca-se a região nordeste que, ao contrário das demais, apresenta solos com reação básica, predominantemente na superfície, e que representa o polígono das secas, a qual perfaz 57% da área total da região. PEREIRA *et al.* (1986) citam um levantamento segundo o qual a área de solos afetada por sais é superior a 9,1 milhões de hectares. Avaliação de 850 ha no perímetro irrigado de São Gonçalo, na Paraíba, revelou que 40% da área é afetada por sais (CORDEIRO *et al.*, 1988).

A precipitação pluviométrica limitada nessas regiões, associada à baixa atividade bioclimática, ao menor grau de intemperização química dos minerais, à elevada evapotranspiração, à presença de camadas adensadas e à má drenagem, conduzem a formação de solos rasos e concentrados em minerais facilmente intemperizáveis que, solubilizados, originam sais que se acumulam no solo. A utilização de água de má qualidade, via irrigação, intensifica tais processos.

O excesso de sais e de sódio trocável, o alto pH, as propriedades físicas indesejáveis e a reduzida disponibilidade de nutrientes limitam o

desenvolvimento das culturas em solos salino-sódicos. Culturas desenvolvidas nesses solos, invariavelmente, sofrem desordens nutricionais. A baixa produção e o subsequente abandono das terras é uma prática rotineira.

Crescentes esforços tem sido empregados para tornar viável a exploração agrícola em tais solos, especialmente o uso de corretivos.

O melhorador químico comumente utilizado na correção de solos com problemas de sodicidade é o gesso, o que se justifica por seu baixo custo, fácil manipulação e disponibilidade, no entanto, em seu emprego têm sido priorizados os efeitos na melhoria das propriedades físicas do solo, com pouca ênfase sobre o tempo necessário à correção, seu efeito residual e sua contribuição efetiva na absorção de nutrientes pelas plantas.

Quanto ao emprego de nitrogênio e fósforo, apesar de respostas das plantas a tais nutrientes serem bastante difundidas, há escassez de informações quanto as influências diretas e indiretas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, com reação ácida, na nutrição mineral de plantas cultivadas em solos salino-sódicos.

O feijoeiro vigna, cultivado em áreas irrigadas e não irrigadas, constitui-se na principal fonte protéica para a dieta do povo nordestino. Seu elevado valor nutritivo (MOURA *et al.*, 1982), rendimento de grãos e maior tolerância à salinidade que o feijoeiro comum (EL BARADI, 1975), fundamentam a pesquisa sobre seu comportamento em solos com problemas salinos.

O presente trabalho objetiva, portanto:

avaliar a influência do gesso na correção de um solo salino-sódico;

verificar os efeitos do gesso, fósforo e nitrogênio na absorção de nutrientes pelas plantas;

quantificar o aproveitamento de nitrogênio, fósforo e enxofre pelas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Gesso em Solos Salinizados

Solos salino-sódicos apresentam em seus perfis, sais solúveis diversos que elevam a pressão osmótica da solução do solo, e também o acúmulo específico de sais de sódio, que acarretam deteriorações química e física, representadas respectivamente, por desbalanços iônicos e dispersão de argila. A presença de camadas adensadas reduz a macroporosidade do solo, restringindo o fluxo d'água e de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das plantas. A utilização de corretivos é indispensável e dentre esses, o sulfato de cálcio dehidratado é de uso mais frequente.

O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um sal neutro com solubilidade de aproximadamente 2,1g/litro a 25°C. É utilizado em todo mundo como fonte de cálcio, responsável pelo deslocamento do sódio trocável durante a correção dos solos sódicos ou salino-sódicos (SHAINBERG *et al.*, 1989). O íon sulfato tende a neutralizar o sódio em solução, originando o sulfato de sódio decahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) que, após a adição de água, é lixiviado.

2.1.1. Corretivo de Propriedades do Solo

Estudos pioneiros de toxicidade dos sais de sódio (SO_4^{2-} , Cl^- e CO_3^{2-}) em plantas foram conduzidos por KELLEY & BROWN (1934), os quais estabeleceram definitivamente o sulfato de cálcio dehidratado como corretivo

de solos salino-sódicos. A recuperação desses solos, principalmente aqueles com menor concentração em carbonatos de metais alcalino-terrosos e sulfato de cálcio, requer a aplicação de corretivos contendo cálcio solúvel e de práticas de manejo adequadas para remover sais solúveis e sódio trocável (RICHARDS, 1954; UNGER, 1979).

A aplicação do gesso ao solo mostra que há um rápido deslocamento inicial do sódio retido nos pontos de troca por pequenas quantidades de gesso, seguida por substituições mais lentas do sódio remanescente.

GRAVELAND & TOOGOOD (1963) concluíram, em estudos de laboratórios, que o gesso é um corretivo eficaz em solos solonéticos, onde o sódio trocável não excede 20-25% da capacidade de troca de cátions. Constataram que a solubilidade efetiva do gesso no solo foi a metade daquela de sua concentração em solução saturada.

PRATTER *et al.* (1978), avaliando a eficiência de vários produtos na correção de solos sódicos, constataram que a quantidade de sódio na solução eluída, em valores acumulados, aumentou no decorrer do tempo, principalmente quando o melhorador utilizado foi o gesso.

A quantidade de gesso dissolvido é função linear dos moles de Na^+ trocável substituídos. Tal constatação foi verificada por OSTER & FRENKEL (1980), após homogeneização do gesso com soluções de sais sódicos. Acrescentam que, há uma redução na eficiência de dissolução do sulfato de cálcio com o decréscimo da concentração de sódio trocável. Os autores sugerem que, há uma reação do sódio com o sulfato formando o complexo NaSO_4^- .

Durante o processo de correção de solos salino-sódicos a solubilidade do gesso é aumentada pela redução dos coeficientes de atividade do cálcio e sulfato na solução. O aumento da força iônica da solução, com o

tempo, tende a reduzir a solubilidade do corretivo, e também a intensidade das substituições do sódio pelo cálcio.

QUIRK & SCHOFIELD (1955) afirmaram que a solubilidade do gesso, durante o processo de lixiviação de sais, tende a apresentar valores que equivalem à metade daquela de seu ponto de saturação. Outros autores citam que a solubilidade do gesso aumenta na presença de NaCl, até o limite de 3N (GLEW & HAMES, 1970).

HIRA & SINGH (1980) relataram que, a concentração de sulfato na solução eluída de colunas de solo tratadas com gesso, aumentou juntamente com o PST do solo, indicando maior solubilidade do gesso a valores de 94% do Na^+ trocável. Relataram, ainda, que a adição de 40 mm de água foi suficiente para solubilizar o gesso de diâmetro menor que 0,26 mm.

KEREN & SHAINBERG (1981), testando a eficiência de três fontes de cálcio (gesso, fosfogesso e sulfato de cálcio), na permeabilidade de um solo com PST 30, concluíram que a taxa de dissolução do gesso e a permeabilidade do solo aumentaram proporcionalmente com a concentração de NaCl nas soluções a que ele foi submetido.

A solubilidade do gesso, a 20°C, variou de 2,10 para 7,3 g/l, quando na ausência e presença de solução NaCl de concentração 131,6 g/l, respectivamente (DURANG, 1983).

MANN *et al.* (1982), após a aplicação de 40 t/ha de gesso em solos sódicos, verificaram uma substituição de 7,4 meq/100 g de Na. Acrescentaram que houve inicialmente uma redução mais acentuada da PST, que diminuindo em seguida. Explicaram ainda, que a permuta do sódio pelo cálcio dentro das unidades estruturais das argilas é um processo lento.

CHHABRA & ABROL (1977) estudaram o efeito de plantas na correção de solos sódicos com PST crescentes (0; 10,5; 29,9; 46,0 e 93,3). Constataram que na dose máxima de sódio ocorreu lixiviação de 317 e 162 meq/100 g de sódio, respectivamente nas parcelas com e sem cultivo de arroz.

Além disso, relataram que o simples aumento da permeabilidade não é suficiente para a correção de solos sódicos, pois o sódio adsorvido será lixiviado por fluxo de massa, apenas após ser deslocado pelo cálcio. Já SWARUP (1985) observou substancial redução na PST após cultivo de arroz, em solo sódico calcário.

SHARMA & GUPTA (1986) estudaram o efeito do gesso na correção de solos sódicos vérticos (pH 8,5, CE 7,2 mmhos/cm e PST 60). Aplicaram gesso nas doses 25, 50 e 75% da sua necessidade máxima e constatarem redução do pH e da CE com o aumento da dose. A inundação das parcelas testemunha com água também resultou numa redução da CE de 7,2 para 5,2 mmhos/cm e aumentou os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em 8,5%.

A incorporação do gesso em solo salino-sódico revelou maior eficiência na correção da salinidade e da sodicidade e tal superioridade é consequência da maior solubilização do gesso incorporado e, portanto, do aumento na eficiência de substituição do sódio trocável e no efeito eletrólito (AGRA & CAVALCANTE, 1991).

TIWARI *et al.* (1993) incorporaram quatro níveis de gesso (0, 11, 22 e 33 t/ha) em um vertissolo salino-sódico (pH 9,1, CE 6,1 dS/m e Na^+ 55,6 meq/100 g). As doses de gesso reduziram os teores de sódio trocável, respectivamente para 45, 32 e 24 meq/100g.

CAVALCANTE & SILVEIRA (1985) utilizaram duas doses de fosfogesso na correção de um solo salino-sódico. Verificaram efeitos promissores do corretivo, na redução do cloreto e da condutividade elétrica do solo e no aumento na concentração de cálcio e sulfato nas soluções eluídas.

Após a análise de solução eluída de solo sódico, previamente corrigido com 0, 25, 50, 100 e 200 % da necessidade máxima de gesso, CHHABRA *et al.* (1981) observaram que nas soluções que receberam os níveis 100 e 200%, o pH foi inferior a 9, enquanto que naquelas com 25 e 50%, o pH foi 10.

A drenagem subsuperficial em solos sódicos, sem a aplicação prévia de gesso, revelou em dois anos, uma menor eficiência na redução da condutividade elétrica, pH e PST do que quando o gesso foi incorporado (FIRAKE & PAMPATTIWAR, 1991).

EMERSON (1994) concluiu, em uma revisão de literatura, que quando o cálcio é substituído pelo sódio, as ligações entre as partículas de argila são enfraquecidas. Explicou que nesse caso os íons sódio são ligados fracamente às superfícies das argilas e que o maior grau de hidratação do sódio acentua esse processo.

Além de participar nos processos relativos às trocas iônicas, o gesso aplicado em solo salino-sódico acarreta aumento na concentração de eletrólitos na solução do solo. Na realidade, os dois processos ocorrem simultaneamente. Sua ação conjunta proporciona a maior neutralização e a remoção, tanto do sódio trocável, quanto dos outros íons, tais como o magnésio e o cálcio. Portanto, após a percolação de água em solo salinizado, são lixiviados, outros sais, além dos de sódio. A mineralogia predominante no solo também influi na correção de solos afetados por sais.

A aplicação de vários níveis de gesso (0; 0,5; 1,0 e 2,0%- p/v) em solo salinizado com solução de NaCl-MgCl_2 , revelou que o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ teve pouco efeito no movimento do sódio no solo, obtendo-se maior deslocamento do magnésio (DUTT, 1964). Outros trabalhos indicam substituição parcial do sódio e do magnésio após a aplicação de soluções com concentrações crescentes de gesso (CHAUDHRY & WARKENTIN, 1968). Eles acrescentaram que solos com predominância de ilitas e montmorilonitas, tendem a apresentar uma menor remoção do Na^+ trocável.

O gesso aplicado em solos salino-sódicos, além de fornecer cálcio para substituir o sódio trocável, também influi positivamente na lixiviação de sais diversos por elevar a concentração de eletrólitos na solução do solo, aumentando sua permeabilidade. Há a possibilidade de que, grande parte da

resposta inicial do gesso resulte de seu efeito sobre concentração de eletrólitos.

McNEAL & COLEMAN (1966) observaram que, a velocidade de percolação da água através do solo, foi reduzida com decréscimo na concentração salina da solução usada. Tal efeito, foi mais pronunciado nos solos com predominância de argilo-minerais 2:1, especialmente a montmorilonita.

LOVEDAY (1976) verificou que a adição de gesso (12,5 t/ha) em solos sódicos provocou aumento significativo na infiltração devido ao aumento da condutividade elétrica (efeito-eletrólitos), o qual foi rapidamente reduzido, após a lixiviação do gesso. Acrescentou ainda que seu efeito nas trocas iônicas é mais lento e prolongado, e que 1/3 a 1/2 do cálcio usado desloca o magnésio. Tais resultados estão de acordo com aqueles obtidos por ARMSTRONG & TANTON (1992), os quais citaram que, 64 a 74% do cálcio aplicado via fosfogesso foi usado em processo de trocas, e que, 1/3 do cálcio adsorvido deslocou o magnésio trocável.

Outros trabalhos também indicam que o cálcio do gesso substitui o magnésio trocável (EMERSON & CHI, 1977). Acrescentaram que, esse processo é de menor importância e seus benefícios práticos são insignificantes, quando comparados com o deslocamento do sódio trocável.

AYLMORE & SILLS (1982) observaram o efeito prejudicial do magnésio trocável na estruturação do solo, quando comparado com o cálcio, independentemente dos valores de PST das amostras de solo analisadas.

A aplicação de 15 t/ha de gesso resultou em significativa redução na concentração de sódio trocável nos primeiros 25 cm do solo (GREENE & FORD, 1985). Relataram que do gesso dissolvido, 53% estava envolvido em trocas iônicas, o qual representou uma eficiência de troca de 26 a 34% no que se refere à substituição do sódio pelo cálcio. Comentaram ainda, que a

remoção do sódio é lenta, quando o PST é inferior a 10, porque parte do cálcio aplicado desloca o magnésio trocável.

A capacidade do solo em responder à correção com gesso é uma decorrência da intensidade com que o solo libera eletrólitos para a solução do solo. SHAINBERG *et al.* (1982) constataram que, em solos menos intemperizados e ricos em CaCO_3 , o gesso tem menor efeito na redução da condutividade hidráulica. Já em solos menos concentrados em eletrólitos, o melhorador químico foi mais eficaz na melhoria da permeabilidade do solo.

SILVA *et al.* (1991) verificaram, em três solos aluviais de texturas diferentes e equilibrados com 25 soluções salinas, que houve maior afinidade pelo sódio trocável e a remoção do mesmo com o aumento da concentração eletrolítica da solução em equilíbrio. Resultados similares foram encontrados por SHAINBERG *et al.* (1980), usando suspensões de montmorilonita.

Adicionando soluções salinas com diferentes RAS em amostras de terra provenientes de áreas sob pastagens, cultivo anual e do horizonte B, BLACK & ABDULHAKIN (1984) verificaram que as maiores diferenças entre as permeabilidades das amostras ocorreram nas menores concentrações de eletrólitos. Em 5 meq/litro de sais, não ocorreram diferenças entre as permeabilidades dos três solos. Acrescentaram que, a permeabilidade decresceu na ordem: pastagens > cultivo > subsuperfície.

Aplicando solução salina em colunas de solo, OSTER & SCHROER (1979) verificaram que a concentração de cátions afetou significativamente a velocidade de infiltração d'água no solo, mesmo em baixos níveis de RAS ($2 < \text{RAS} < 5$). Comentaram que a taxa de infiltração diminuiu com o aumento do RAS e com a redução da concentração iônica.

O efeito da concentração de eletrólitos na taxa de infiltração foi estudada por AGASSI *et al.* (1980). Constataram que a infiltração d'água no solo foram de 2,3; 0,7 e 0,6 mm/hora a 2,2; 4,6 e 11,6 % PST do solo, respectivamente.

MISOPOLINOS (1985) adicionou água salina, com mesma concentração de cálcio, na correção de solos sódicos. Constatou a redução na concentração de sódio trocável na solução eluída, à medida que a diluição da solução foi aumentada.

ARAUJO *et al.* (1992), testando o efeito de gesso na correção de solo salino-sódico, observaram que após seis percolações de água, num período de 120 dias, houve aumento nos teores de magnésio no solo em todos os tratamentos com gesso, em relação à testemunha.

A correção de solos salino-sódicos objetiva eliminar os excessos de sais solúveis e de sódio trocável. No caso específico de solos sódicos a neutralização e lixiviação do sódio é meta prioritária. Nesse processo exige-se a aplicação de gesso que, através de substituições iônicas ou por elevar a concentração de eletrólitos na solução do solo, reduz o efeito prejudicial do sódio do solo e, conseqüentemente a dispersão de argilas. Tal dispersão é influenciada ainda pela presença de outros íons no complexo de troca, principalmente o magnésio, e também pela mineralogia e pela reação do solo.

O cálcio, que reduz a dispersão das argilas, pode ser fornecido através da aplicação do gesso, ou pode ser oriundo de processos de intemperismo do solo. Segundo RHODES *et al.* (1968), solos de formação recente liberam de 3 a 5 mmol/l de cálcio e magnésio para a solução como resultado da dissolução de plagioclásios, hornblenda e outros minerais.

Resultados obtidos por EMERSON & BAKKER (1973) demonstraram que as diferenças na dispersão de agregados em água são devidas principalmente à composição de cátions nos sítios de troca. Eles acrescentaram que, em agregados saturados com Na-Mg a PST exigida para induzir a dispersão foi 2, enquanto naqueles saturados com Na-Ca o valor foi de 5.

A mesma tendência foi verificada por outros pesquisadores. Eles comentaram que solos com predominância de magnésio adsorvem mais sódio

que aqueles com cálcio (RAHMAN & ROWELL, 1979) e reduzem a condutividade hidráulica do solo (McNEAL *et al.*, 1968).

Outros relatos (ROWELL & SHAINBERG, 1979; ALPEROVITCH *et al.*, 1981; RENGASAMY, 1983) sugerem que, solos com fração argilosa com predominância de magnésio podem dispersar mais que aquelas com cálcio, isso quando a concentração de eletrólitos é baixa.

O efeito específico dos íons de magnésio deve-se a sua capacidade de proporcionar maior concentração de sódio no complexo de troca do solo, quando comparado com o cálcio. A presença do sódio acelera a dispersão das partículas do solo, restringindo sua porosidade. Tal efeito é reduzido, quando a composição da solução do solo aproxima-se da concentração crítica de eletrólitos (QUIRK, 1994).

A presença do cálcio no complexo de troca, após substituir o sódio, reduz a espessura da dupla camada difusa e a dispersão de argilas (RIMMER & GREENLAND, 1976).

A dispersão e a agregação das argilas em solos esmectíticos são determinadas principalmente pela presença de sódio no complexo de troca e muito pouco pelo pH do sistema, mas em solos cauliníticos, a dispersão é predominantemente determinada pelo pH (CHURCHMAN *et al.*, 1993) e pela presença de ânions derivados da matéria orgânica (SHANMUGANATHAN & OADES, 1983).

GUPTA *et al.* (1984), após saturar solos com soluções que apresentavam alcalinidades crescentes (pH 6,0 a 10,8), concluem que a elevação do pH e do RAS aumentaram a dispersão de argila.

Segundo OSTER *et al.* (1980), a dispersão da argila é aumentada pelo sódio trocável, e a presença do cálcio tende a aumentar sua floculação, principalmente quando a solução do solo apresenta baixa concentração iônica. Comentaram também, que os valores de floculação para argilas ilíticas, saturadas por cálcio e sódio, foram respectivamente 0,25 e 55 mol_c/m³. Nesses

casos, o gesso é mais eficiente na melhoria da permeabilidade do solo sódico (SHAINBERG *et al.*, 1982), especialmente quando os solos exibem menor capacidade de liberar eletrólitos para a solução.

FRENKEL *et al.* (1992) verificaram que a quantidade de cloreto de sódio exigido para flocular uma suspensão com caulinita e sódio é menor que aquela para flocular uma suspensão com montmorilonita e sódio. Já GOLDBERG & FORSTER (1990), estudando a floculação de argilas de solos oriundos do semi-árido, constataram que o valor de floculação aumentou juntamente com o pH e o RAS, independentemente do mineral de argila predominante. Acrescentaram ainda, que a dispersão da argila do solo é influenciada não apenas pela presença do sódio mas por sua reação: houve aumento na dispersão da argila quando o pH variou de 6,5 para 10,5 em um solo saturado por sódio.

O desenvolvimento da sodicidade do solo pode ser influenciado pela relação Ca/Mg. Essa foi a conclusão de PALIWAL & GHANDHI (1976), após a análise de amostras de terra previamente equilibradas com soluções salinas. Observaram ainda, que o sódio foi mais adsorvido na presença de magnésio que de cálcio. Acrescentaram que o magnésio exibe uma menor afinidade de troca que o cálcio e aumenta indiretamente o grau de saturação por sódio.

RENGASAMY *et al.* (1984), aplicando 7,5 t/ha de gesso, constataram que a percentagem de argila dispersa, nas 17 áreas testadas, reduziu-se, em média, de 4,0 para 1,0. As amostras foram coletadas após dois ciclos do trigo.

SUAREZ *et al.* (1984) observaram que, após manter constantes o RAS e a concentração de eletrólitos nos pH 6, 7, 8 e 9, houve aumento na dispersão de argila com a elevação do pH em dois solos de regiões áridas, sendo um predominantemente caulínítico e outro montmorilonítico.

A remoção do sódio, após a adição do gesso, reduz a dispersão das argilas que, indiretamente, também proporciona o aumento da porosidade, estabilidade estrutural dos agregados e lixiviação dos sais nos solos.

FREITAS *et al.* (1984), estudando solos salino-sódicos em áreas irrigadas do nordeste brasileiro, observaram aumento na condutividade hidráulica e na estabilidade dos agregados nos tratamentos com gesso, acentuando-se com os níveis crescentes de cálcio.

O gesso tende também a aumentar a capacidade de retenção de água. ACHARYA & ABROL (1978), aplicando 00; 7,5; 15,0; 27,5 e 30 t/ha em solos sódicos verificaram uma maior retenção de água nas parcelas onde o gesso foi aplicado.

A melhoria na permeabilidade do solo salino-sódico após adição de gesso (10 t/ha), foi constatado por McINTYRE *et al.* (1982). Na ausência do gesso, infiltrou-se 292 mm de água em 379 dias de inundação e com gesso 605 mm em 143 dias. Acrescentaram ainda, que os sais se movem tanto através dos macroporos quanto dos microporos e que, a acumulação de cloro no solo ocorreu a 1,0 metro de profundidade, quando não se aplicou gesso e a 2,8 metros na sua presença.

KAZMAN *et al.* (1983) constataram que a aplicação superficial de fosfogesso (5 t/ha), antes da chuva, aumentava a infiltração de água e reduzia a formação de crostas no solo. Concluíram que o adensamento do solo era devido à dois mecanismos: uma dispersão física, causada pelo impacto das gotas de água, e outra química, que desagrega as argilas e depende da PST do solo e da concentração iônica da água aplicada. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por GAL *et al.* (1984).

AGASSI *et al.* (1990), aplicando fosfogesso (5 t/ha) à superfície de solo sódico (PST 18) comprovaram uma acentuada redução no escoamento superficial da água e conseqüentemente maior infiltração. Atribuíram tal efeito ao aumento na concentração de eletrólitos na solução do

solo. ZAHOW & AMRHEIN (1992) obtiveram resultados semelhantes, especialmente quando a PST < 15. Acrescentaram que, em solo salino-sódico (CE 6,7 mmhos/cm, pH 8,2 e PST 31,5), o gesso aumentou a permeabilidade devido à redução do PST para 9,6.

2.1.2. Efeito Sobre a Produção Vegetal

O comportamento de algumas culturas em solos sódicos tratados com gesso, tem sido observado em experiências por vários pesquisadores. Tais estudos enfatizaram o efeito do gesso nas plantas, de forma geral, com nenhuma referência à absorção do enxofre efetivamente derivado do corretivo.

Apesar do gesso ser empregado como fertilizante desde a segunda metade do século XVIII (CROCKER, 1945), e a literatura menciona muitos trabalhos sobre o fosfogesso como fonte dos nutrientes cálcio e enxofre (ALCORDO & RECHCIGL, 1993), nos dois casos as culturas são desenvolvidas em solos com reação ácida.

Resultados de pesquisas que relatam o efeito do gesso como fonte de nutrientes, especificamente para a cultura do feijão vigna em solos salino-sódicos, são escassos. Assim, nesse tópico, serão citados trabalhos que enfoquem o efeito geral do gesso nas plantas cultivadas em solos com problemas de salinidade e sodicidade.

Há poucas dúvidas de que a nutrição inadequada das plantas pelo enxofre, provavelmente aumente em todo o mundo, com a crescente produção de fertilizantes concentrados, a redução obrigatória nas emissões de dióxido de enxofre para a atmosfera e crescente remoção devido maiores produtividades das culturas (SHAINBERG *et al.*, 1989). Essa condição é agravada pelo decréscimo no uso de pesticidas sulfurados e pelo declínio nas reservas de enxofre devido à erosão e lixiviação.

É importante atentar, para os níveis de enxofre no solo, de modo que sua concentração nos tecidos vegetais oscilem entre 0,3 a 0,5%. Por ser componente dos aminoácidos cistina, cisteína, metionina e de todas as proteínas, sua deficiência nas plantas provoca uma queda drástica na produção.

Quanto ao cálcio, as plantas necessitam que suas concentrações nos tecidos vegetais variem de 0,2 a 1,0%. Sua deficiência manifesta-se nos tecidos apicais das raízes e da parte aérea, e está associada à permeabilidade da membrana celular, absorção iônica e ativação enzimática.

BARLEY & HUTTON (1956), mostraram que a aplicação de 4,48 e 17,9 t/ha de gesso em solos salino-sódicos, antes do cultivo do arroz aumentou a relação Ca/Na da solução, o índice de germinação e o estabelecimento das plântulas.

LAHAYE & EPSTEIN (1971) cultivaram plantas de feijão em solução 50 mM NaCl. A adição de gesso em doses que variaram de 0,1 a 10mM produziram um aumento no peso de matéria seca da parte aérea de 0,46 para 0,74 g/planta. Os autores associaram tal efeito ao declínio drástico no conteúdo de Na⁺ nas folhas, cuja variação foi de 1,4 para menos de 0,1 mmol/g de matéria seca.

Solos salino-sódicos têm relação solo-ar-água desfavorável ao crescimento das plantas. A elevada saturação por sódio e a concentração excessiva de carbonatos interferem no crescimento e na nutrição vegetal adequada (CRUZ-ROMERO & COLEMAN, 1975).

TAKKAR & SINGH (1978) aplicaram 0, 25 e 50% da necessidade máxima de gesso em solo alcalino. Constataram um aumento significativo na produção de grãos e matéria seca de arroz, atribuindo tal efeito ao cálcio oriundo do gesso.

ABROL & BHUMBLA (1979) aplicaram superficialmente 0; 7,5; 15,0; 22,5 e 30,0 t/ha de gesso nos primeiros 30 cm de solos sódicos.

Efetuada estudos comparativos entre várias culturas, concluíram que a presença do arroz permitiu a correção de solos sódicos em profundidades maiores. Possivelmente, as raízes das plantas de arroz no solo formam canais, que resultaram, no aumento da permeabilidade e conseqüentemente da lixiviação de sais.

OLSEN & WATANABE (1979) testaram o efeito do gesso (30 ppm S) em solos alcalinos não salinos, na absorção de Fe e Zn pelo sorgo. As análises das folhas revelaram que o gesso aumentou a concentração de ferro de 56 para 65 ppm e a de zinco de 56 para 80 ppm.

A aplicação de gesso (6,5 e 13 g/kg) em solos salino-sódicos, sem subsequente percolação de água, não permitiu germinação de sementes das plantas de arroz (AGRA & CAVALCANTE, 1992).

SHAW *et al.* (1994) comentam que o gesso é necessário para se obter uma infiltração de água suficiente no perfil do solo e maior capacidade de água disponível às plantas. Adicionaram que com a aplicação do gesso a frente de molhamento atinge camadas abaixo da zona radicular.

FERREYRA & COELHO (1986), aplicando as doses de gesso (0, 6, 12 e 18 t/ha), em um solo aluvial sódico, verificaram um aumento médio de 21,5% na produção de arroz, na dose 12 t/ha, em relação à testemunha. Acrescentaram também, que a dose de 18 t/ha de gesso apresentou efeito depressivo no rendimento e produção média do arroz.

A maior absorção de cálcio e de enxofre pelo feijão vigna, após a adição de fosfogesso, foi verificada por CAVALCANTE & SILVEIRA (1985). Constataram ainda, um aumento na germinação das sementes e na produção de matéria seca. Tais resultados diferem daqueles obtidos por LUCENA (1986), que observou uma redução nos teores de enxofre na parte aérea da mesma cultura, nos maiores níveis de fosfogesso.

DUBEY *et al.* (1987) estudaram o efeito do gesso e da pirita na produção de arroz. A produção de arroz foi de 1,50, 15,31 e 6,10 g/vaso respectivamente nos tratamentos controle, gesso e pirita.

GUPTA & GUPTA (1990) avaliaram o efeito dos níveis de gesso na absorção de nutrientes pela soja. As doses de 25 e 100% da necessidade máxima de gesso foram aplicadas em solo sódico com PST 56,5. As concentrações de Mg, P e Na na parte aérea diminuíram, enquanto as de K e Ca aumentaram com as doses crescentes de gesso.

CHAUHAN (1992) conduziu um estudo comparativo entre o gesso e a pirita na correção de solos sódicos, com rotação das culturas arroz e trigo. Ambos os melhoradores reduziram a condutividade elétrica, o pH e a PST do solo. Durante o primeiro ano, não houve diferenças entre os tratamentos, enquanto no segundo ocorreu um aumento nas produções das culturas nas maiores doses do corretivo.

¹Hollanda (comunicação pessoal) utilizou várias doses de gesso em solos salino-sódicos no Rio Grande do Norte. Três meses após, observou que a produção de algodão herbáceo cresceu linearmente até a dose de 10,6 t/ha e, a partir dessa, permaneceu constante.

DUBEY & MONDAL (1994) conduziram um ensaio em um solo sódico (pH 10,5, CE 3,6 dS/m e PST 96). Tinham por objetivo testar o efeito do gesso (12,5 t/ha), pirita (2,3 t/ha), resíduos orgânicos (30 t/ha) e associações desses tratamentos sobre a produção de arroz e trigo irrigados com água salina e não salina. Concluíram que o gesso associado com resíduos orgânicos foi significativamente superior aos demais tratamentos produzindo 4,6 t/ha de arroz, enquanto o gesso sozinho produziu 3,86 t/ha.

¹ Hollanda, J.S. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, CAICÓ-RN). Comunicação pessoal, 1993.

2.2. Utilização de Nitrogênio, Fósforo e Ácidos em Solos Afetados por Alcalinidade

2.2.1. Nitrogênio

A aplicação de nitrogênio em solos de reação básica tem objetivado principalmente estudar as perdas de nitrogênio via volatilização do NH_3 . JEWITT (1942), após a adição de sulfato de amônio em solo com pH 10,5, observou uma perda de 87%. Resultados concordantes foram obtidos por MARTIN & CHAPMAN (1951), os quais acrescentaram que as perdas de NH_3 nos solos saturados por potássio e sódio são superiores àqueles saturados por cálcio e magnésio. Esses autores atribuíram ao efeito do pH mais elevado que ocorre devido a presença dos primeiros íons.

TERMAN & HUNT (1964) afirmaram que nos solos calcários, o CaCO_3 reage com o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ originando produtos de baixa solubilidade. Comentaram ainda que, um outro produto da reação é o $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, instável, e que se decompõe em NH_3 , CO_2 e H_2O . Sugeriram que as perdas de NH_3 podem ser consideravelmente menores ao aplicar-se compostos tais como o NH_4NO_3 , o qual não origina precipitados de cálcio.

SINGH & CORNFIELD (1967), após a correção de solos salino, salino-sódico e sódico, observaram que a acumulação de N mineral (NO_3^-) nos solos que não receberam gesso foram superiores aqueles corrigidos. Acrescentaram ainda, que os solos com gesso apresentaram mineralização do N, apenas três semanas após a incubação.

FENN & KISSEL (1973) avaliaram as perdas de NH_3 após a adição de fontes de $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ e, constataram que as perdas de NH_3 foram 54, 51 e 18%, quando aplicou-se $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e NH_4NO_3 respectivamente, e que ocorreu uma redução no pH de 7,6 para 6,8 com a aplicação de 550 kg/ha de $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ como NH_4NO_3 .

RAO & BATRA (1993) constataram, em solos de reação alcalina, maior perda de N por volatilização (60%) nos maiores níveis de N aplicado (60 e 75 ppm N). Afirmaram que, quando se adicionou 20 ppm N, a perda foi de aproximadamente 40%. Acrescentaram que, as maiores perdas ocorrem até o quinto dia após aplicação e, aumentam juntamente com a temperatura do solo.

Os solos salino-sódicos apresentam alta concentração de ânions HCO_3^- e CO_3^{2-} , que funcionam como receptores de prótons (H^+), acelerando as perdas de N por volatilização: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$.

SINGH (1987) estudou o efeito do sulfato de amônio e uréia aplicados na sequência de cultivos arroz-trigo em solo com reação alcalina (pH 10,4). As doses usadas foram de 120 e 150 kg/ha de N, para cada fonte. Constataram ainda, que o parcelamento do N em quatro doses, proporcionou maiores produções e absorção de N pelas culturas.

A presença de sais tende a restringir a taxa de mineralização do N. Mesmo os sais contidos naturalmente em compostos orgânicos inibem a decomposição da matéria orgânica e, portanto, a mineralização do N (TESTER & PARR, 1983).

Segundo RAI (1987) e WILSON (1970) o excesso de sais afeta adversamente a sobrevivência, crescimento, nodulação, fixação de N_2 e a simbiose *Rhizobium*-leguminosa, prejudicando inclusive a incorporação de aminoácidos em proteínas (BEN ZIONI *et al.*, 1967).

RAVIKOVITCH & YOLES (1971a,b) estudaram o efeito do nitrogênio e fósforo na produção de milho cultivado em solos salinizados com solução de NaCl, originando CE que variou de 0,5 a 1,3 mmhos/cm. Observaram que a produção do milho foi reduzida com o aumento da salinidade quando os tratamentos N-P não foram aplicados. Acrescentam ainda que houve redução no crescimento do milho com o aumento da relação N/P, mas que tal tendência foi reduzida nos maiores níveis de P (44,8 ppm).

GILL & SINGH (1992) cultivaram duas variedades de arroz em solos salinizados artificialmente (CE de 2,15; 4,50 e 7,5 ds/m). Em seguida aplicaram 100 kg/ha de N em cada nível de CE, concluíram que o aumento da salinidade reduziu a concentração de K e aumentou a de N e S na parte aérea das plantas.

RAI (1992) adicionou doses de N (0, 12,5; 25,0 e 40 mg/kg), via uréia, em solos salino-sódicos (pH 8,8, CE 5,2 mmhos/cm e PST 22,2), onde cultivou-se vários genótipos de feijão. O autor obteve significativo aumento na produção de grãos com 40 mg/kg de N.

STEPPUHN *et al.* (1994) testaram o efeito de doses de N (0, 56, 112 e 168 kg/ha), como NH_4NO_3 , na produção de forragens (*Kochia* sp) cultivada em solo sódico (CE 11 dS/m, pH 8,1 e RAS 19 (mmol/l)^{1/2}. Verificaram que a aplicação de quantidades crescentes de N aumentou a produção de biomassa, de $\text{N}(\text{NO}_3)$ e a concentração de proteínas. A dose de N que produziu 7500 kg/ha de forragens ,96% da produção máxima, foi de 110 kg/ha de N.

SINGH & SHARMA (1993) aplicaram nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg/ha), via uréia, em solos sódicos (pH 10,3 e PST 93) cultivados com arroz. Eles verificaram que a recuperação de N pela cultura foi maior a 60 kg/ha (39,2%). Concluíram ainda, que a contribuição total do N do fertilizante, na planta inteira e nos grãos, foi de 63 e 56%, respectivamente. Não houve aplicação prévia de gesso nesse estudo.

SHAVIN & HAGIN (1993), após adição de N (0,8 e 1,2 g/vaso de N) em solo salinizado com NaCl (CE 2,4 mmhos/cm), constataram que a salinidade do solo reduziu a absorção de N pelo trigo.

Alguns trabalhos citam o efeito conjunto do gesso e nitrogênio em solos com problemas salinos. MEHTA *et al.* (1980) incorporaram gesso nos primeiros 10 cm da superfície do solo juntamente com 150 kg/ha de N.

Obtiveram sucessivos incrementos na produtividade do arroz nos quatro anos posteriores à aplicação, os quais corresponderam a 2,81; 3,06; 3,32 e 3,58 t/ha de arroz do primeiro ao quarto ano, respectivamente.

2.2.2. Fósforo

A disponibilidade do fósforo, sob as condições de salinidade e de sodicidade, é afetada pela presença de sais e, especificamente dos íons Ca^{2+} e Na^+ . A adição de cloretos de Na, Ca, Mg e K, em amostras de gipsita, revelou maior adsorção do fósforo por sais de cálcio (HELYAR *et al.*, 1976; RYDEN & SYERS, 1975). Resultados semelhantes foram obtidos por CURTIN *et al.* (1987), os quais verificaram menor liberação do fósforo para a solução, nos solos em que o cálcio era o íon dominante. Outros trabalhos, no entanto, indicam que a presença excessiva do Na^+ estimula a dessorção do fósforo (SHARPLEY *et al.*, 1988).

CHHABRA *et al.* (1981) adicionaram 5 e 10 t/ha de gesso em solo sódico. Constataram que a concentração de fósforo, determinado pelo método de Olsen, foram de 19,5 e 5 ppm, nos primeiros 15 cm superficiais do solo, respectivamente nos dois níveis de gesso.

MANCHANDA *et al.* (1982) adicionaram 0, 10, 25 e 50 kg/ha de P (KH_2PO_4) em solo arenoso irrigado com água salina concentrada em SO_4^{2-} e Cl^- (CE de 15 a 19 mmhos/cm). Verificaram que o fósforo aumentou significativamente a produção de trigo e cevada nas parcelas com cloro, mas nenhuma resposta ocorreu nas parcelas com sulfato. Sugeriram ainda, que a necessidade de fósforo pelas duas culturas, foi maior na salinidade provocada pelo cloro do que pelo sulfato.

BARROW (1984) relata que cátions divalentes como o Ca^{2+} , tornam o potencial de superfície nas argilas mais positivo, elevando a retenção de fósforo.

A reação altamente alcalina dos solos sódicos, devido a presença de Na_2CO_3 e a grande quantidade de Na^+ adsorvido, reduz a disponibilidade de nutrientes às plantas, especialmente do fósforo, ferro, manganês e zinco, além da solução do solo exercer ação corrosiva sobre as raízes (FOTH & TURK, 1972).

CHHABRA (1985) testou, em solo aluvial sódico, o efeito do fósforo (0 e 22 kg/ha) na produção de arroz. Apesar de ter obtido, em um período de seis anos, produção média do arroz na testemunha inferior aos tratamentos com fósforo, concluiu que não é necessário aplicar fertilizante fosfatado no solo. É importante acrescentar que tais solos não receberam aplicação prévia de gesso.

GUPTA *et al.* (1990) submeteram amostras de solos sódicos a várias soluções salinas (NaCl , NaHCO_3 e Na_2SO_4) com pH 9,0. Relataram que houve menor retenção de P na presença de carbonatos que nos sistemas com cloretos ou sulfatos.

FIXEN (1992) cita que a aplicação de fósforo no solo, em faixas laterais, reduziu o efeito da salinidade e aumentou a produção de cevada.

2.2.3. Ácidos

Além do emprego de sais, tais como do CaCl_2 e do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, podem ser utilizados ácidos ou produtos de reação ácida visando estudar o seu efeito no crescimento das plantas. Dentre esses destacam-se o H_2SO_4 , o H_3PO_4 , a pirita e o enxofre elementar.

YAHIA *et al.* (1975) aplicaram H_2SO_4 (1, 5, 10, 15 e 20 t/ha) e gesso (1,75; 8,75; 17,5; 26,2 e 35 t/ha) em solos com PST variando de 0,4 a

100. Os resultados indicaram que o H_2SO_4 superou o gesso, quanto ao efeito na melhoria da permeabilidade do solo à água, especialmente nos valores mais altos de PST.

NIAZI *et al.* (1992) avaliaram a influência do H_2SO_4 (100 e 200 kg/ha) e HCl (325 e 650 kg/ha) em solo salino-sódico, em combinação com sulfato de amônio e cloreto de amônio como fonte de nitrogênio (126 kg/ha de N), na produção de arroz. Os resultados indicaram que ambos os corretivos, misturados com as fontes nitrogenadas e superfosfato simples (50 kg/ha), aumentaram significativamente a produção de arroz, com clara superioridade do H_2SO_4 .

JONES *et al.* (1993) constataram, 28 dias após aplicação de soro (ácido) de requeijão em solo sódico, que ocorreu aumento na produção de matéria seca de cevada. A adição de 0, 25, 50 e 100 mm de soro proporcionou, valores de produção de matéria seca de 0,54; 0,72; 2,0 e 1,4 kg/m², respectivamente. Constataram ainda, uma redução do PST, do RAS e do pH do solo devido a aplicação do corretivo.

ZAITER & SAADE (1993), estudando a interação entre o fósforo (1, 10 e 100 μM de H_3PO_4) e salinidade (10, 50 e 100 mM de NaCl), constataram que a tolerância do feijão a salinidade aumentou com os níveis de fósforo, resultando numa produção maior de matéria seca e redução de injúria na parte aérea.

2.3. Influência da Salinidade e Sodicidade Sobre as Plantas

As culturas apresentam tolerância variável aos sais solúveis e ao sódio. São várias as alterações existentes nas plantas para esse fim, entre os quais citam-se adaptações naturais representadas por aspectos morfológicos, anatômicos e bioquímicos.

As plantas afetadas pela salinidade crescem lentamente sendo, portanto, raquíticas. As folhas tendem a apresentar cor verde-escuro, com menor tamanho e maior suculência. A redução do crescimento é uma consequência da necessidade de ajustamento osmótico pela planta, o qual pode ser conseguido pelo acúmulo de íons K^+ ou de solutos orgânicos (BERNSTEIN, 1975; WILLIAMSON & COSTON, 1989). Esses autores comentaram ainda, que adequadas concentrações de cálcio sobre condições não salinas, tornam-se prejudiciais quando a relação Na/Ca é alta.

A sensibilidade a salinidade de uma dada espécie ou cultivar pode variar durante a ontogenia, podendo diminuir ou aumentar, dependendo das espécies de plantas, da cultivar ou dos fatores ambientais. A beterraba, por exemplo, é altamente tolerante durante todo o seu ciclo, mas é sensível durante a germinação. Por outro lado, a sensibilidade aos sais do arroz, tomate, trigo e cevada frequentemente aumenta após a germinação (MARSCHNER, 1986). No milho a sensibilidade aos sais é particularmente alta na inflorescência, e baixa durante o enchimento dos grãos (MAAS *et al.*, 1983).

PEARSON & BERNSTEIN (1958) observaram uma progressiva redução no crescimento do arroz com o aumento na concentração de sódio e de enxofre e com a redução da concentração de potássio e cálcio. Quanto aos teores de fósforo, permaneceram constante.

Embora as raízes das plantas estejam diretamente expostas a solução do solo, e a sua absorção e retenção de íons ser maior que a translocação para a parte aérea, geralmente são menos afetadas pela salinidade que a parte aérea (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958). Resultados semelhantes foram obtidos por HEGAL & MENGEL (1979) que, conduziram experimento em solução nutritiva, objetivando avaliar a influência da salinização pelo NaCl (80mM) e KCl (5 e 10 mM), na absorção do nitrogênio

pela cevada. Observaram que todos os efeitos dos sais foram mais pronunciados na parte aérea que nas raízes.

WERKHOVEN *et al.* (1966) pesquisaram o efeito da PST na concentração de nutrientes no açafrão (*Carthamus tinctorius* L.). Verificaram que o aumento da PST reduziu a concentração de K, Ca, Mg e P na parte aérea, e que a máxima produção de grãos ocorreu com PST igual a 20.

SWARUP (1985) estudou o efeito dos níveis de PST (82, 72, 65, 32 e 0) na produção de arroz. Concluíram que o aumento da PST reduziu a produção e conteúdo de Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn e Cu nas plantas.

LYNCH & LAUCHLI (1985) estudaram o efeito de sais na nutrição mineral da cevada. Após cultivá-la em concentrações de 1 a 30 mM NaCl, observaram uma redução no conteúdo total de cálcio nas raízes à medida que aumentava a concentração salina. Justificaram que isso se deve a um possível deslocamento do cálcio pelo sódio, nos sítios de troca do apoplasto.

A alta concentração externa de sódio reduz a atividade de íons cálcio nas raízes e, conseqüentemente, a sua disponibilidade às plantas (CRAMER & LAUCHLI, 1986; CRAMER *et al.*, 1985). Comentaram ainda, que isso explica a redução do cálcio no plasmalema com altas concentrações de sódio.

GILL *et al.* (1992) cultivaram trigo no solo em três diferentes níveis de alcalinidade (pH 7,5-8,5; 8,8-9,2 e 9,4-9,6). Verificaram que a produção de grãos foi reduzida com a elevação do pH, ocorrendo diminuição de 75% na produção na faixa mais alta de pH.

CHAUHAN & KUMAR (1993) estudaram o efeito da água de irrigação com três níveis de Na₂CO₃ (2, 5 e 10 meq/l), na produção das culturas de ervilha, grão de bico e lentilha. O cultivo foi feito em solo com reação alcalina (pH 8,2, CE = 2,3 dS/m e PST=10). Concluíram que, crescentes níveis de salinidade, reduziu significativamente as produções de grãos, de

matéria seca e os teores de Ca, Mg e K na parte aérea, mas aumentou a concentração de Na.

Alguns trabalhos tem sido conduzidos objetivando verificar o efeito da salinidade e/ou sodicidade na absorção de micronutrientes pelas plantas. YANG *et al.* (1993) estudando o efeito do HCO_3^- em solo calcário (pH 7,8), verificaram redução na absorção de Zn, Fe e Mn pela cultura do arroz. A absorção de cobre não foi influenciada. SWARUP (1993), conduzindo ensaio em solo sódico, verificou que a aplicação de Zn aumentou significativamente a produção e os teores de Zn nas folhas da cultura de arroz. Acrescentaram ainda, que a adição do Fe aumentou a absorção dele próprio e do Mn.

SATTI & LOPES (1994) cultivaram tomates em soluções com níveis crescentes de potássio (4, 8 e 12 mM) e de CE (1,3; 5,5; 6,8; 7,5 e 8,0 ds/m). Observaram que a aplicação de 4 e 8 mM de K aumentou o peso da matéria seca das plantas e a produção de frutos. Explicaram ainda, que o potássio pode ter reduzido o efeito adverso da salinidade, por substituir o sódio nas células guardas, aumentando a abertura estomatal, a absorção de CO_2 e a atividade fotossintética.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Ensaio

O experimento foi realizado em casa de vegetação e laboratórios do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba. A área é caracterizada pelas coordenadas geográficas: Latitude 22°42'20"S, Longitude 47°38'0"W Gr. e altitude 576 metros.

3.2. Solo: Localização, Amostragem e Caracterização

O solo foi coletado no setor 10 do perímetro irrigado de São Gonçalo, localizado a 10 km da cidade de Souza-PB e delimitado pelas coordenadas geográficas Latitude 6°45'00"a 6°50'00"S, Longitude 38°10'00"W Gr. e altitude 220 metros.

O clima da região de Souza-PB é, segundo a classificação de Koppen, quente e seco, tipo Bsh, com precipitação pluvial média de 800 mm, e um período chuvoso que abrange os meses de janeiro a maio.

As amostras foram coletadas da camada superficial (0-30 cm), destorroadas, secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm e homogeneizadas. As características físicas e químicas do solo são apresentadas a seguir nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1. Características físicas das amostras do solo utilizado no experimento.

Argila	Silte	Areia	Densidade do Solo	Classe Textural
-----%-----			g/cm ³	
27	32	41	1,30	Franco Argiloso

Tabela 2. Características químicas das amostras de terra utilizadas no experimento.

Parâmetros	Unidade	Solo
pH em CaCl ₂		8,8
Matéria Orgânica	g/dm ³	29,3
Ca ²⁺	mmol _c /dm ³	153,0
Mg ²⁺	mmol _c /dm ³	30,4
K ⁺	mmol _c /dm ³	2,5
Na ⁺	mmol _c /dm ³	45,2
H ⁺ +Al ³⁺	mmol _c /dm ³	5,0
SB ¹	mmol _c /dm ³	230,1
CTC	mmol _c /dm ³	235,1
V	%	98,0
Ca/Mg	-	5,0
S(SO ₄ ⁼)	mmol _c /dm ³	15,7
Cl ⁻	mmol _c /dm ³	85,5
P	mmol _c /dm ³	53,0
N	mg/dm ³	6,8
Cu	mg/dm ³	2,3
Fe	mg/dm ³	25,6
Mn	mg/dm ³	20,8
Zn	mg/dm ³	2,6

1 - Soma de bases

Tabela 3. Análise química do extrato de saturação do solo, antes da aplicação do gesso.

Parâmetros	Unidades	Valores
pH	-	8,6
CE	dS/m	8,0
Na ⁺	mmol _c /dm ³	82,1
K ⁺	mmol _c /dm ³	0,7
Ca ²⁺	mmol _c /dm ³	4,0
Mg ²⁺	mmol _c /dm ³	1,9
RAS	(mmol _c /dm ³) ^{1/2}	48
PST	%	50
Classificação: Solo Salino-Sódico		

A análise granulométrica foi feita pelo método do densímetro (Bouyoucos), e a densidade determinada pelo método do anel volumétrico, ambas metodologias descritas em CAMARGO *et al.* (1986).

A caracterização química das amostras de solo para fins de fertilidade foi realizada através dos procedimentos descritos por RAIJ & QUAGGIO (1983), que expressam os teores disponíveis. Desses, subtraiu-se os teores solúveis, como sugerido por (KNUDSEN *et al.*, 1982), obtidos em extrato solo/água 1:5 segundo recomendação de RHODES(1982). A correção é recomendada para a obtenção de teores de cátions trocáveis e CTC em solos de regiões secas. O S-SO₄²⁻ foi extraído pelo acetato de amônio em ácido

acético, com posterior medição pelo método turbidimétrico (VITTI, 1989). O cloro foi determinado por volumetria de precipitação (EMBRAPA, 1979) e os micronutrientes extraídos com DTPA (LINDSAY & NORVELL, 1978).

A obtenção do extrato de saturação do solo foi realizada segundo o procedimento descrito na EMBRAPA (1979). O cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o sódio e potássio por fotometria de emissão. A Relação de Adsorção de Sódio ($RAS = Na^+ \cdot [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{-1/2}$) foi quantificada.

A percentagem de sódio trocável (PST) foi calculada pela expressão: $PST = \frac{100(0,0212 \text{ RAS} - 0,0135)}{1 + (0,0212 \text{ RAS} - 0,0135)}$ que, conforme PEREIRA (1981), é representativa para os solos de cinco setores irrigados do projeto irrigado de São Gonçalo.

3.3. Instalação do Ensaio: Aspectos Gerais

A pesquisa constou de duas etapas. A primeira correspondeu à incorporação do gesso ao solo, seguido de sucessivas percolações de água através do volume de terra. A segunda envolveu a aplicação de níveis de nitrogênio e fósforo em cada nível do corretivo, com subsequente semeadura e acompanhamento do desenvolvimento da cultura em estudo.

3.4. Aplicação do Corretivo

As doses de gesso a serem aplicadas ao solo foram calculadas pela equivalência entre a concentração de sódio existente no solo e a de cálcio presente no corretivo químico (RICHARDS, 1954), com a modificação proposta por BARROS & MAGALHÃES (1989). Foram aplicados dois níveis,

correspondentes a 50 e 100% da necessidade máxima de gesso, que equivalem a 6 e 12 g/kg de terra.

Em cada dose de gesso aplicou-se sulfato de cálcio desidratado, na dosagem de 53,6 mg/kg, marcado com enxofre-35, obtido em laboratório através de reações entre o cloreto de cálcio e o ácido sulfúrico (JACOBS & JORDAN, 1954). A atividade utilizada foi de 20 μ Ci/vaso.

O gesso empregado é um minério extraído no município de Araripina-PE. Sua composição revelou 19% de sulfato e 12% de cálcio, solúveis em água.

O produto, após ser peneirado em malha 1,0 mm de abertura, para uniformizar a granulometria, foi incorporado e homogeneizado aos dois litros de solo contidos em cada vaso. Nessa fase, utilizou-se o total de 60 vasos, 30 para cada nível de gesso, nos quais foi adaptada uma mangueira que interligava a base dos vasos a frascos com capacidade de 500 ml, a fim de coletar-se a solução eluída do solo.

Após a aplicação do gesso, o solo foi mantido a 80% da capacidade de campo. Em seguida, foram efetuadas cinco percolações de água através do volume de solo: 6, 12, 18, 24 e 30 dias após a aplicação do gesso. Em cada uma dessas usou-se aproximadamente 700 ml de água deionizada por vaso (20 mm). O volume coletado da solução eluída do solo, em cada vaso, foi de 300 ml.

Em cada período, coletou-se 30 amostras de solução eluída, em cada nível de gesso, e um total parcial de 60 amostras. Essas foram homogeneizadas três a três, dentro de cada tratamento, retirando-se a seguir uma alíquota de 10 ml. Nas cinco percolações de água obtiveram-se um total geral de 100 amostras. Essas foram acondicionadas em frascos e mantidas em câmara fria.

3.5. Delineamento Experimental

O ensaio, na segunda etapa da pesquisa, constou de delineamento casualizado, com tratamentos em arranjo fatorial 2x3x3.

Os fatores foram representados por dois níveis de gesso (6 e 12 g/kg), três de nitrogênio (00, 30 e 60 mg/kg) e três de fósforo (00, 100 e 200 mg/kg). A fonte de nitrogênio foi o nitrato de amônio e a de fósforo o ácido fosfórico, ambos produtos analíticos cujas soluções revelaram pH 4,9 e 0,6, respectivamente. As fontes foram marcadas com isótopos estáveis e radioativos. A fonte de nitrogênio apresentou 5% átomos em excesso e a de fósforo, atividade de 50 μ Ci por vaso.

Decorrida a adubação procedeu-se a semeadura do feijão vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Oito dias após a germinação foi feito o desbaste deixando-se três plantas por vaso.

3.6. Condução

Na etapa inicial amostras com dois litros de terra foram misturadas com o gesso, sendo em seguida umedecidas até atingir 80% da capacidade de campo e mantidas em sacos plásticos, utilizando-se vasos de barro como suporte. Procedeu-se a aplicação das lâminas de água, com intervalos de seis dias, em um período de 30 dias. Entre cada percolação de água, a umidade foi mantida em um nível tal, que impedisse a formação de rachaduras na camada superficial da terra contida nos vasos.

Após o período de lixiviação dos sais, as amostras de terra foram secas, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente coletou-se 20 amostras de terra, 10 em cada nível de gesso aplicado.

Na fase seguinte da pesquisa, aplicou-se os níveis de nitrogênio e fósforo. As doses de fósforo foram usadas em sua totalidade no início do

ensaio. Quanto ao nitrogênio, aplicou-se a metade no período da semeadura do feijão e o restante 25 dias depois. Nenhuma adubação básica foi fornecida.

Posteriormente à homogeneização, a terra foi retornada aos vasos e umedecida até 60% da capacidade máxima de retenção de água pela terra. Seis sementes de feijão foram semeadas por vaso.

Transcorridos 50 dias da semeadura, cortou-se a parte aérea das plantas rente ao solo, as quais foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa com ventilação forçada a 65°C, pesadas e moídas. A seguir, efetuou-se amostragem de terra em cada vaso.

3.7. Obtenção dos Resultados

3.7.1. Análises Químicas de Plantas

A concentração dos macronutrientes foi determinada por via úmida. Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram determinados segundo a metodologia descrita em SARRUGE & HAAG (1974). O cobre, enxofre, ferro, manganês e zinco foram determinados segundo a metodologia descrita em MALAVOLTA *et al.* (1989).

3.7.2. Análises Isotópicas

As análises de enxofre-35 foram efetuadas através de cintilação líquida, e a de fósforo-32 por efeito Cerenkov. Foram analisados segundo método descrito por NASCIMENTO FILHO & LOBÃO (1977). Em ambos os casos foi utilizado o cintilador líquido Beckman LS-230. O nitrogênio-15 foi determinado em um espectrômetro de massa. A preparação das amostras foi feita segundo o método descrito por TRIVELIN *et al.* (1973).

3.7.3. Análises Químicas da Terra

O pH, os cátions disponíveis e a acidez potencial foram determinados segundo procedimento descrito por RAIJ & QUAGGIO (1983). O $S-SO_4^{2-}$ foi determinado segundo VITTI (1989) e o cloro por volumetria de precipitação (EMBRAPA, 1979). Para a obtenção dos teores de bases trocáveis e da CTC, utilizou-se o método da subtração descrito por GUPTA *et al.* (1985). O fósforo foi determinado pelo método de OLSEN ($NaHCO_3$ 0,5M pH 8,5) descrito em OLSEN *et al.* (1954). O nitrogênio total foi determinado após a destilação em destilador Microkjeldahl.

3.8. Parâmetros Avaliados e Análises Estatísticas

Na solução eluída do solo foram avaliados: pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , segundo metodologia descrita em EMBRAPA (1979) e o N total, após a destilação em destilador Microkjeldahl. Especificamente em relação ao sulfato de cálcio dihidratado marcado com S-35, quantificou-se o percentual de $S-SO_4^{2-}$ lixiviado.

Os parâmetros de planta, todos determinados na parte aérea, foram: produção de matéria seca, teores e conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, assim como o aproveitamento do N, P e S pelas plantas.

O efeito dos tratamentos serão interpretados através de análises de variância dos resultados. Os efeitos das doses de nitrogênio e fósforo foram avaliados por regressão polinomial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1. Análise Química da Terra Antes e Após a Aplicação do Gesso.

Conforme os valores apresentados na tabela 4, todos os parâmetros analisados sofreram variação ao longo do tempo, em relação à condição inicial do solo, tanto para as práticas de manejo empregadas, quanto para as doses de gesso aplicadas inicialmente no solo salino-sódico.

Comparando-se os resultados de pH da terra, verifica-se uma diminuição dos mesmos após a percolação de água no solo e o cultivo do feijão macassar. Dentro de cada período as doses maiores do corretivo também proporcionaram declínio no pH.

A redução do pH após o período de lixiviações dos sais deve-se à retirada do terra dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) retidos no complexo de troca e sua substituição por íons H^+ provenientes de dissociação iônica da H_2O . A complexação e a precipitação das espécies iônicas CO_3^{2-} e HCO_3^- também provocaram redução do pH, já que em solos sódicos com alto pH a alcalinidade da solução do solo é definida por: $\text{Alcalinidade} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$ (RENGASAMY & OLSSON, 1993). Além disso, pode-se acrescentar o efeito do corretivo aplicado que ao aumentar a concentração de eletrólitos na solução do solo, em relação à condição inicial, tendem a diminuir o pH do solo, relação comprovada por SHOFIELD & TAYLOR (1955), e que também foi relatado por GUPTA & ABROL (1990), que mencionaram valores menores de pH em extratos solo/água 2:1, em solos altamente salinos (pH = 7,6) em relação aos

solos não salinos ($\text{pH} = 8,6$). Os últimos autores acrescentaram que há uma relação direta entre percentagem de solo trocável e pH do solo. Como, após o período de lixiviação de sais, a concentração de sódio trocável do solo, é inferior àquela da condição inicial, fica claro a diminuição do pH de 8,8 para um valor médio de 7,75.

Tabela 4. Análise química da terra antes da aplicação do gesso (AAG), após a lixiviação dos sais (ALS) e após cultivo do feijão (ACF).

Parâmetros	Unidades	AAG	ALS		ACF	
			-----Gesso (g/kg)-----			
			6	12	6	12
pH (CaCl ₂)	-	8,8	7,8	7,7	7,4	7,1
CE	dS/m	2,5	2,0	2,2	2,6	3,4
Ca ²⁺	mmol _c /dm ³	153,0	179,3	250,1	154,0	193,2
Mg ²⁺	mmol _c /dm ³	30,4	13,4	15,5	32,0	29,3
K ⁺	mmol _c /dm ³	2,5	7,5	9,9	8,3	7,2
Na ⁺	mmol _c /dm ³	45,2	22,5	20,7	29,8	23,8
H ⁺ +Al ³⁺	mmol _c /dm ³	5,0	6,0	6,0	9,3	9,2
SB	mmol _c /dm ³	230,1	222,7	296,2	224,2	252,8
CTC	mmol _c /dm ³	235,1	228,7	302,2	233,5	262,0
S(SO ₄ ²⁻)	mmol _c /dm ³	15,7	93,0	220,4	109	223
Cl ⁻	mmol _c /dm ³	85,5	20,3	10,4	27	33
V	%	98	97	98	96	96
SS	%	19	9,8	6,4	13	9
Ca/Mg	-	5,0	13	16	4,8	6,9
P	mg/dm ³	53	45,1	34,6	184	161
N TOTAL	mg/dm ³	6,8	7,2	6,5	7,3	6,2

SS = saturação por sódio

A queda acentuada do pH de 8,8 para 7,4 - 7,1, na etapa pós cultivo do feijão deve-se principalmente ao fato de que foram utilizadas, como fontes fosfatadas e nitrogenadas, respectivamente o ácido fosfórico e o nitrato de amônio. O pH das soluções aplicadas revelou valores de 0,58 para o H_3PO_4 , e de 4,90 para o NH_4NO_3 . O ácido tem efeito direto na redução do pH, enquanto o sal, apesar de ter pouco efeito na redução do pH durante o processo de absorção dos íons NH_4^+ e NO_3^- pelas plantas, apresenta reação ácida no solo, com valores equivalentes de acidez de 535. Ainda pode-se atribuir tal redução à maior concentração de CO_2 derivado da decomposição da matéria orgânica nativa do solo e também oriunda das raízes das plantas, assim como liberação de secreção ácida por parte das raízes. Essa afirmativa está de acordo com resultados obtidos por SWARUP (1985). Outros autores concordaram com maior atividade de microorganismos em solos com alta concentração de cálcio e sais e portanto, maior evolução de CO_2 (JOHNSON & GUENZI, 1963). Devido ao fornecimento de fonte nitrogenada contendo N amoniacal o pH do solo tende a baixar por um motivo adicional: a reação da nitrificação que provoca a liberação de 2H^+ por NH_4^+ oxidado.

A diminuição do pH com as doses do corretivo não foi tão pronunciada quanto o efeito do corretivo ao longo do tempo. No período que se sucedeu à lixiviação dos sais o pH variou de 7,8 para 7,7, e após o cultivo do feijão, variou de 7,4 para 7,1, nas doses 6 e 12 g/Kg de gesso respectivamente. Essa menor redução do pH em doses mais elevadas de gesso também foi observada por LUCENA (1986) e pode ser devido ao efeito depressivo sobre o pH, provocado pela maior concentração de eletrólitos nas doses mais altas de corretivo aplicadas no solo.

A maior redução do pH devido à aplicação de gesso em solos sódicos tem sido observada por outros pesquisadores (CHHABRA *et al*, 1981; SHARMA & GUPTA, 1986; FIRAKE & PAMPATTIWAR, 1991; CHAUHAN, 1992; GUPTA & GOI, 1992). Esses autores indicaram ainda, que tais reduções são acentuadas após o cultivo desses solos.

Quanto aos valores de CE, determinados em extratos solo:água de 1:5, verificou-se uma redução de 2,5 para 2,0 - 2,2 dS/m após o período de lixiviações dos sais solúveis. No final do ensaio, após o cultivo do feijão, a CE se elevou atingindo valores de 2,6 e 3,4 dS/m respectivamente, nas duas doses de gesso, o que pode ser atribuído a uma maior solubilização do sulfato de cálcio aplicado, assim como de sais nativos do solo por influência da redução do pH. Em ambos os períodos observa-se que a CE do solo aumentou juntamente com as doses do corretivo aplicado, o que se deve a maior concentração de eletrólitos (Ca^{2+} e SO_4^{2-}) nas doses maiores. Resultados semelhantes foram encontrados por CAVALCANTE (1984) e SHARMA & GUPTA (1986).

Os valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ (Tabela 4) correspondem aos teores trocáveis. Os teores de Ca^{2+} sofreram uma grande variação. Após o período de lixiviação, devido a aplicação do corretivo, a concentração de Ca^{2+} aumentou de 152 para 179,3 e 250,1 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$, nos dois níveis de gesso respectivamente, apesar da aplicação de água para se eliminar o excesso de sais. No final do experimento as doses de cálcio continuam superiores às aquelas apresentadas pela terra na condição inicial, mas com uma leve redução em relação aos teores do período pós-lixiviações, devido provavelmente à maior solubilização do corretivo nesse período e a absorção do Ca^{2+} pelas plantas. Portanto, apesar da baixa solubilidade do gesso, sua aplicação no solo salino-sódico tende a elevar a concentração de Ca^{2+} na solução do solo. Isso se justifica por quatro motivos: 1º) A alta concentração de cálcio solúvel em água contido no corretivo (12%); 2º) O aumento na solubilidade do gesso proporcionado pela maior concentração salina do solo; 3º) A aplicação de produto com menor granulometria ($\phi < 1\text{mm}$) e 4º) A redução do coeficiente de atividade do Ca^{2+} na solução, devido a sua remoção durante o processo de percolação de água através do volume de terra. Explicação que está de acordo com resultados obtidos por GLEW & HAMES (1970); DURANG (1983);

KEREN & SHAINBERG (1981); HIRA & SINGH (1980) e OSTER & FRENKEL (1980).

Quanto ao Mg^{2+} trocável, constata-se que seus teores reduziram-se acentuadamente devido ao efeito das lixiviações, o que foi intensificado por sua substituição pelo Ca^{2+} no complexo de troca do solo. Já após o cultivo do feijão verificou-se um aumento nos teores de Mg^{2+} , mesmo comparando-o com os valores obtidos na condição inicial, o que pode ser explicado pelas reações de hidrólise dos carbonatos de Mg^{2+} nativos do solo e também pela maior solubilização do corretivo, liberando Ca^{2+} para a solução do solo, intensificando as reações de permuta $Ca^{2+} - Mg^{2+}$ na área de exposição das argilas do solo. Considerando-se o efeito do corretivo, observa-se um aumento nos teores de magnésio na dose mais elevada do gesso unicamente no período pós-lixiviações. No período pós-cultivo, os menores valores de magnésio nas doses mais elevadas do corretivo foram devidos a presença de maiores concentrações de Mg^{2+} solúvel, o qual foi subtraído dos teores “disponíveis”.

A maior retenção do cálcio trocável quando comparado com o magnésio pode ser atribuída ao fato que o diâmetro do íon cálcio hidratado é menor que do íon magnésio, respectivamente 0,42 e 0,47nm. Isso explicaria a maior força eletrostática com que o cálcio é retido na superfície específica das argilas (EMERSON & CHI, 1977).

Outros pesquisadores também concordam que há maior deslocamento do Mg^{2+} após aplicação do gesso em solos sódicos (DUTT, 1964; CHAUDHRY & WARKENTIN, 1968), o que se justifica pelo fato de que um percentual do Ca^{2+} aplicado substituiu o Mg^{2+} do solo (LOVEDAY, 1976; ARMSTRONG & TANTON, 1992)

Os teores de K^+ aumentaram após adição do corretivo em relação à condição inicial, tanto após as lixiviações quanto no período de pós-cultivo. O aumento na concentração de K^+ de 2,5 para 7,5-9,9 no período de pós-lixiviação, implica que pouco K^+ foi lixiviado apesar de sua liberação para a solução, devido sua substituição no complexo de troca pelo Ca^{2+} . É que aquele

cátion apresenta alta adsorção em solos com predominância de argilo-minerais 2:1, principalmente ilitas e montmorilonitas (TISDALE *et al*, 1984), e os solos de regiões semi-árida afetados por sódio apresentam elevada concentração nesses minerais, como comprova a análise mineralógica do solo em resultados obtidos por CAVALCANTE (1984) e BATISTA (1988). A redução nos teores de K^+ no final do ensaio, na maior dose do corretivo, deve-se provavelmente a maior concentração de potássio solúvel. Da mesma forma que o Mg^{2+} , os efeitos sobre os teores de K^+ foram mais pronunciados com o tempo do que com as doses de corretivo aplicados. Observações também constatadas por LUCENA (1986).

A tabela 4 revela que os teores de Na^+ trocável reduziram-se de 45 mmol/dm³ antes da aplicação do gesso, para valores de 22,5 - 20,7 após lixiviação dos sais, e 29,8 - 23,8 após cultivo do feijão. Tais resultados indicam que a aplicação do gesso foi eficiente na correção do excesso de sódio trocável. Observa-se que no período pós-lixiviações ocorreu maior redução nos teores de sódio, o que se deve a presença do gesso e também a prática de percolação de água através do solo. A análise da terra no final do experimento revela valores maiores, possivelmente devido a solubilização do sódio ao longo do cultivo. Resultados que estão de acordo com as afirmativas de RENGASAMY (1983), segundo o qual o efeito tampão devido ao intemperismo e hidrólise torna impossível reduzir os níveis de sódio a valores próximos a zero, em solos sódicos.

Os teores de Na^+ , ao contrário do Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , foram reduzidos, em ambos os períodos, à medida que as doses de gesso aumentaram. O que pode ser atribuído a maiores substituições do Na^+ pelo Ca^{2+} , a alta concentração de eletrólitos e também ao maior deslocamento do sódio pelo sulfato. A alta mobilidade do íon Na^+ é explicado por seu elevado grau de hidratação.

A saturação por sódio (% SS) mostrou mesma tendência observada nos teores de Na^+ trocável. De 19% seus valores foram reduzidos

para 9,8 e 6,4% no período pós-lixiviações, com os níveis crescentes de gesso. Após o cultivo do feijão seus valores foram de 13 e 9%. Essa menor saturação por sódio apresentada pela terra, em relação à condição inicial, deve-se ao aumento da CTC do solo.

Tais resultados concordam com àqueles obtidos por vários pesquisadores, segundo os quais, a aplicação de gesso em solos salino-sódicos tende a reduzir a concentração de Na^+ na solução do solo tanto devido a trocas iônicas $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ e aumento na concentração eletrolítica da solução do solo (OSTER & FRENKEL, 1980; GREENE & FORD, 1985) quanto por práticas de manejo (UNGER, 1979).

A tabela 4 revela teores de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ baixos. Antes da aplicação do gesso e após a aplicação dos sais variaram de 5 para 6 mmol/dm^3 . A elevação em seus valores após o cultivo de feijão (9,3 e 9,2 mmol/dm^3) é devido a solubilização de aluminossilicatos. As doses de gesso não alteraram os teores de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$.

As variações da SB, CTC e V% do solo após aplicação do corretivo, lixiviação e cultivo, encontram-se na tabela 4. Verifica-se que após as lixiviações seus valores mantiveram-se praticamente constantes, exceto nas maiores doses de gesso, cujos valores da SB e CTC são maiores devido a influência do cálcio derivado do corretivo, e do magnésio e potássio liberados após reações de troca com o cálcio.

As análises referentes ao sulfato e ao cloreto, ânions predominantes nos sais do solo salinizados, representam valores disponíveis.

Os valores do sulfato do solo são maiores após o período de lixiviações e após o cultivo do feijão, devido ao gesso aplicado. Apesar das perdas por lixiviação verifica-se altas concentrações de sulfato após esse período (93,0 e 220,4 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$) em relação à condição inicial (15,7 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$). Resultados que corroboram com observações de CAVALCANTE (1984).

Comparando-se os resultados do cloreto, verifica-se que em relação a condição inicial da terra, seus teores foram reduzidos: de 85,5 para 20,3 e 10,4 mmol/dm³ no período pós-lixiviações e, 27 e 33 mmol/dm³ após o cultivo. A queda acentuada na concentração do Cl⁻ na primeira fase deve-se a alta solubilidade do cloreto no solo, o que proporciona maior lixiviação desse elemento. O cultivo do feijão proporcionou maior liberação de Cl⁻ para solução do solo, o que explica seus valores mais altos na terra analisada no final do cultivo.

A tabela 4 mostra que ocorreu um acentuado aumento na relação Ca/Mg após adição do gesso, o que se intensificou na maior dose, especialmente após o período de lixiviações dos íons. Esse desbalanço provoca prejuízo ao desenvolvimento das plantas, mesmo que a saturação por sódio do solo tenha sido reduzida para valores inferiores a 15%. A redução na relação Ca/Mg no período pós-cultivo deve-se a maior absorção do Ca²⁺ assim como substituição do Mg²⁺ pelo Ca²⁺ no complexo troca.

Quanto aos teores de nitrogênio total, pouco variaram em relação à condição inicial, indicando pequeno efeito das lixiviações e do cultivo em seus teores. São valores muito abaixo daqueles presentes na camada superficial de muitos solos cultivados (0,06 a 0,5%N).

Os teores de fósforo apresentaram uma grande redução com a aplicação do gesso. A indisponibilidade do fósforo deve-se à sua precipitação como fosfatos de cálcio. Outros autores tem observado comportamento semelhantes (CHHABRA,1985), o que pode ser atribuído a predominância de íons Ca²⁺ (BARROW,1984) ou de sais de SO₄²⁻ (GUPTA *et al.*,1990). Os valores mais elevados no final do ensaio deve-se à aplicação de P via fertilizantes, cujos valores médios foram de 184 e 161 mg/dm³ respectivamente, nos níveis crescentes de gesso aplicado.

4.2. Determinações Químicas nas Soluções Eluídas do Solo.

4.2.1. Análises químicas.

Resultados relativos aos valores de pH, condutividade elétrica, totais de sais dissolvidos, lixiviados e nitrogênio total na solução eluída do solo, estão relacionados na figura 1.

Pela figura 1A percebe-se que ocorreu aumento do pH, em ambos os níveis de gesso, até 18 dias após aplicação do gesso, estabilizando-se a partir desse período. O menor pH apresentado 6 dias após a aplicação do gesso é decorrência da elevada concentração de eletrólitos presente na solução eluída do solo, o que comprova o efeito depressivo da concentração salina no pH do solo. Resultados que estão de acordo com os valores citados por GUPTA & ABROL (1990) e que são confirmados pelos valores mais elevados da condutividade elétrica (Figura 1B) e totais de sais lixiviados (Figura 1C) nos períodos iniciais de lixiviações. Segundo essas figuras, pode-se deduzir que a eliminação dos sais do solo salino-sódico foram maiores a 6 e 12 dias após aplicação do gesso, permanecendo praticamente constante nos demais períodos. Tal fato pode ser atribuído a maior capacidade de dissolução do gesso no período inicial, provocado pela presença excessiva de sais e de sódio trocável, reduzindo a capacidade de dispersão da argila e elevando simultaneamente, a macroporosidade do solo. A presença de sais após 18 dias da aplicação do gesso pode ser atribuído ao alto poder tampão do solo. Sob essas condições pode-se inferir, portanto, que não é possível uma perfeita correção do solo salino-sódico.

Quanto ao nitrogênio lixiviado do solo (Figura 1D) seus valores indicam maior perda 6 dias após aplicação do gesso, reduzindo-se nos períodos subsequentes. A queda brusca da linha que representa os teores médios exibe uma tendência de que em pouco tempo seus valores tendem a um mínimo.

Figura 1. Efeito das doses de gesso sobre o pH (A), a condutividade elétrica (B), e os teores de sais (C) e nitrogênio total (D) lixiviados do solo, nos diferentes períodos após aplicação do gesso.

Pela figura 2 verifica-se que os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio na solução eluída do solo reduziram-se da primeira à última lixiviação. Para qualquer elemento, 18 dias após aplicação do gesso, a concentração do íon na solução permaneceu praticamente estável, o que confere com a concentração total de sais dissolvidos lixiviados (Figura 1C).

A redução nos teores de sódio na solução eluída do solo (Figura 2A) ao longo dos vários períodos de lixiviações evidencia a eficiência da água na redução dos sais de sódio, o que coincide com resultados de RICHARDS (1954). A maior lixiviação do sódio a 6 e 12 dias após aplicação do gesso confirma que o processo de trocas iônicas do sódio pelo cálcio no complexo de troca ocorre com maior intensidade nas primeiras percolações de água, o que é intensificado pela elevada concentração inicial de eletrólitos e a melhoria da agregação do solo, com simultânea redução do poder dispersivo das argilas que o compõe. A menor remoção do sódio nos períodos seguintes justifica-se pela lentidão da permuta do sódio pelo cálcio dentro das unidades estruturais das argilas.

Evidentemente outros elementos apresentam simultânea lixiviação. O potássio (Figura 2B), cálcio (Figura 2C) e magnésio (Figura 2D) apresentaram mesma tendência do sódio, com a diferença que as quantidades lixiviadas foram menores. Para o caso do potássio isso se justifica por sua menor concentração inicial no solo e maior capacidade de adsorção em solos com predominância de esmectitas. Quanto ao cálcio , apesar de sua alta concentração inicial, proporcionado pela aplicação do gesso, os baixos teores obtidos na solução eluída devem-se a sua retenção na superfície específica das argilas após substituir o sódio e/ou o magnésio trocáveis do solo. Isso explica a elevada lixiviação do magnésio relativamente à do cálcio.

Figura 2. Efeito das doses de gesso sobre os teores de sódio (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) lixiviados do solo nos diferentes períodos após aplicação do gesso

Os teores de sulfato lixiviados (Figura 3A) aumentaram com a dose de gesso aplicado e, ao tempo, seus valores foram mais elevados até 24 dias após aplicação , decrescendo em seguida, o que coincide com os resultados obtidos por LUCENA (1986). A maior lixiviação do sulfato até esse período deve-se a alta dissolução do gesso nas condições iniciais devido a elevada concentração salina. O aumento na concentração de sulfato na solução eluída do solo juntamente com os teores de sais de sódio também são relatado por HIRA & SINGH (1980).

Quanto ao cloro (Figura 3B) observa-se que foi mais intensamente lixiviado a 6 e 12 dias após aplicação do gesso, estabilizando-se a partir do 18º dia. A intensa lixiviação explica-se pela alta solubilidade dos sais de cloro.

Os resultados de carbonatos (Figura 3C) e bicarbonatos (Figura 3D) indicam uma tendência de aumento na concentração até 12 e 24 dias após aplicação do gesso respectivamente, declinando a seguir. Suas altas concentrações 12 e 18 dias após aplicação do gesso justificam os valores de pH mais elevados nesses períodos.

As figuras 4, 5 e 6 exibem o efeito do gesso nos vários parâmetros analisados da solução eluída do solo. As colunas seguidas por mesma letra não diferem entre si, enquanto que àquelas seguidas por letras distintas diferem a 5% de probabilidade, segundo o teste de Tukey.

Figura 3. Efeito das doses de gesso sobre os teores de sulfato (A), cloreto (B), carbonato (C) e bicarbonato (D) lixiviados do solo nos diferentes períodos após aplicação do gesso

A figura 4 mostra que não houve diferenças entre os valores de pH nas duas doses de gesso aplicado no solo; ambas revelam pH 8,0. No presente trabalho uma maior lixiviação de íons carbonatos e bicarbonatos, na maior dose de corretivo, provocou aumento do pH da solução, apesar de existir, segundo a literatura, efeito depressivo sobre o pH, provocado pela maior concentração salina.

Tais resultados estão de acordo com aqueles obtidos por LUCENA (1986), mas discordam dos de CHHABRA *et al.* (1981), provavelmente porque este analisou solução eluída do solo sódico com maior concentração de CO_3^{2-} e HCO_3^- .

Figura 4. Efeito das doses de gesso sobre a variação do pH, a condutividade elétrica (CE), os totais de sais dissolvidos (TDS) e o nitrogênio total (Ntotal) na solução eluída do solo

A condutividade elétrica (Figura 4) aumentou com as doses de gesso aplicadas no solo, o que indica a ação benéfica do corretivo na eliminação dos sais. Isso se deve ao aumento na eficiência de substituição do sódio trocável e ao efeito da maior concentração de eletrólitos, proporcionado pelas maiores doses de gesso.

CAVALCANTE & SILVEIRA (1983) também constataram redução da CE na solução eluída de solo salino-sódico, com os níveis crescentes de gesso.

Quanto as perdas de N, não foram aumentadas com as doses crescentes de gesso. Ao contrário, ocorreu uma redução. Provavelmente tal resultado deva-se a baixa concentração de nitrogênio no solo em estudo.

A figura 5 mostra os teores de Na, K, Ca e Mg na solução eluída do solo, nos dois níveis de gesso aplicados.

Observando-se os teores de Na^+ , vê-se que ocorreu um significativo aumento na lixiviação desse elemento com a aplicação de 12g/kg do corretivo. Isso indica a necessidade de gesso para aumentar a lixiviação do excesso de sódio comum em solos salino-sódicos. Os valores de Na^+ lixiviados foram de 42,0 e 67,7 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$ respectivamente, nos níveis 6 e 12 g/kg de gesso.

A eficiência do gesso é explicada pelo maior deslocamento do Na^+ , devido a intensificação dos processos de trocas iônicas Ca-Na, pelo aumento da concentração de eletrólitos, que melhora a permeabilidade do solo, consequência da melhoria na agregação e redução da dispersão das argilas. Além disso, a hidrólise do Na^+ excede a dos demais cátions.

Diversos autores tem constatado aumento na concentração de Na^+ em soluções eluídas nas maiores doses de gesso, ou maior lixiviação de Na^+ com consequente redução no PST do solo, nas doses mais altas de gesso (PRATTER *et al.*, 1978; MANN *et al.*, 1982; FIRAKE & PAMPATTIWAR, 1991).

Os teores de K^+ lixiviados foram muito baixos em relação aos demais cátions, variando de 0,59 para 0,78 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$ respectivamente, nas

doses 6 e 12 g/Kg de gesso. Tal resultado comprova a baixa intensidade das reações de troca K-Ca e o pouco arraste de sais potássicos após percolação

Figura 5. Efeito das doses de gesso sobre os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio lixiviados do solo

d'água no solo, o que justifica a não aplicação de fertilizantes potássicos em cultivos conduzidos após a lavagem dos solos. A elevada capacidade de adsorção de potássio em solos cujo mineral de argila predominante é a montmorilonita pode explicar tal comportamento.

A variação de 11,99 para 16,66 mmol/dm³ dos teores da Ca^{2+} lixiviados respectivamente nos níveis 6 e 12 g/Kg de gesso indicam um efeito positivo, mas também óbvio, visto que maiores concentrações de Ca^{2+} foram aplicados na dose mais elevada de gesso. A não obtenção de valores lixiviados proporcionais à sua aplicação indica que parte do cálcio foi

precipitado e não lixiviado, ou permaneceu retido no complexo de troca do solo, após substituir o Na^+ trocável.

Quanto ao Mg^{2+} , também observou-se aumento nos teores lixiviados com as doses crescentes de gesso aplicado, podendo-se deduzir que um percentual do cálcio derivado do corretivo participou das reações de troca com o magnésio, elevando sua concentração na solução do solo e, consequentemente, sua lixiviação. Comentário que está de acordo com resultados obtidos por DUTT (1964), LOVEDAY (1976), EMERSON & CHI (1977), ARMSTRONG & TANTON (1992). Portanto, além de substituir o Na^+ , o Ca^{2+} oriundo do gesso solubilizado, também reage com o Mg^{2+} retido nas argilas. A maior remoção do Mg^{2+} traz um benefício adicional: reduz a quantidade de argilas dispersas do solo.

Os valores de sulfato, cloro, carbonato e bicarbonato lixiviados nos dois níveis de gesso, estão representados na figura 6.

Os teores mais elevados de SO_4^{2-} lixiviados na maior dose do corretivo utilizado, deve-se ao valor adicional de SO_4^{2-} utilizado através do gesso ($80 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$). Além disso, a maior concentração de eletrólitos promove aumento na permeabilidade do solo.

Os altos teores de cloro lixiviados, 43,3 e $80,8 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$ respectivamente, nos níveis 6 e 12g/Kg de gesso, indicam efeito significativo do corretivo. A maior remoção do Cl^- em relação aos demais ânions deve-se a aumentos nas trocas iônicas $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$, pequena força de adsorção do Cl^- e a alta solubilidade e mobilidade dos sais de cloro.

Quanto aos teores de carbonato e bicarbonato lixiviados, não foram aumentados com os níveis de gesso aplicado. As baixas concentrações nas soluções eluídas do solo podem ser consequência de sua precipitação como carbonatos de cálcio.

Figura 6. Efeito das doses de gesso sobre os teores de sulfato, cloreto, carbonato e bicarbonato lixiviados do solo

4.2.2. ANÁLISES ISOTÓPICAS

A variação das quantidades de sulfato de cálcio marcado, presente na solução eluída do solo, encontra-se representada na figura 7. Observando-se a curva dos teores médios depreende-se que houve uma gradativa redução nos conteúdos do corretivo lixiviado ao longo do tempo. As maiores quantidades lixiviadas do $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ verificaram-se 6 e 12 dias após aplicação do gesso. A gradativa redução em seus conteúdos ao longo do tempo, fato que não ocorreu na lixiviação de SO_4^{2-} natural (Figura 3A), deve-se a menor granulometria do primeiro, que sofreu intensa lixiviação já nos dois primeiros períodos. Deduzindo-se portanto, que a aplicação de corretivo de menor granulometria pode reduzir o tempo necessário para se verificar a neutralização e correção de solos com excesso de sais e sódio.

Figura 7. Efeito das doses de gesso sobre os conteúdos de sulfato marcado lixiviados do solo nos diferentes períodos após aplicação do gesso

Os conteúdos lixiviados nos dois níveis de gesso natural aplicado indicam a mesma tendência apresentada pelas médias, com uma superioridade na menor dose do corretivo a partir de 12 dias após aplicação do gesso.

A análise de variância revelou diferença a 5% de probabilidade, segundo o teste de Tukey, entre os conteúdos de sulfato de cálcio lixiviado (Figura 8).

Figura 8. Efeito das doses de gesso sobre o conteúdo de sulfato marcado lixiviados do solo

As quantidades lixiviadas foram 60,2 e 50,4 mg/vaso respectivamente nas doses 6 e 12 g/kg de gesso natural aplicado no solo, correspondendo a perdas, em termos percentuais de 34 e 40%. Observa-se menor lixiviação na dose mais elevada, o que se justifica pelo fato do gesso marcado ter sido produzido em laboratório, tendo menor granulometria e maior solubilidade que o gesso natural.

A avaliação dos teores de cátions e ânions lixiviados confirma o efeito benéfico do gesso natural na correção do solo. No entanto, esse efeito não foi verificado na lixiviação do sulfato marcado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Explicação: como foi usado mesma quantidade de gesso marcado nos dois níveis do corretivo natural, a possibilidade do primeiro reagir com cátions (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e ser lixiviado nas menores doses de gesso natural é maior.

4.3. Efeito Sobre as Plantas

4.3.1. Produção de Material Vegetal Seco

Na tabela 5 são apresentados os resultados do efeito do gesso sobre a produção de matéria seca da parte aérea do feijão. Independentemente dos níveis de nitrogênio e fósforo aplicados verificou-se, nos tratamentos que receberam 12 g/kg do corretivo, uma redução na quantidade de matéria seca produzida.

Tabela 5. Efeito dos níveis de gesso sobre a produção de material seco pela cultura do feijão. Média de 27 repetições

Parâmetro	Gesso	
	6	12
	-----g.vaso ⁻¹ -----	
Material seco	4,75 a	4,19 b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Considerando-se os níveis de nitrogênio e fósforo aplicados no solo, nota-se que ocorreu mesma tendência, com efeito significativo, na dose 30 mg/kg de N, tanto na ausência quanto na presença de 100 mg/kg de P (Tabela 6). Observa-se ainda que houve aumentos na produção de matéria seca, em ambos os níveis de gesso, segundo tanto os níveis crescentes de nitrogênio quanto de fósforo (Figuras 9). O nitrogênio (Figuras 9A e 9B) proporcionou maior produção de matéria seca na dose mais elevada de fósforo (200 mg/kg). Já na presença de fósforo (Figuras 9C e 9D) tal comportamento foi constatado apenas na maior dose do corretivo (12 g/kg), mas nesse caso a

maior produção de matéria seca também foi conseguida na presença do nitrogênio.

Tabela 6. Efeito do gesso sobre o conteúdo de material seco produzida pelo feijoeiro nas várias doses nitrogênio e fósforo aplicadas ao solo. Média de três repetições.

Nitrogênio	Gesso	Fósforo (mg.kg^{-1})		
		00	100	200
mg.kg^{-1}	g.kg^{-1}	----- g.vaso^{-1} -----		
00	6	3,85 a	4,37 a	4,36 a
	12	3,56 a	3,96 a	3,97 a
30	6	4,67 a	5,04 a	5,51 a
	12	3,98 b	4,21 b	4,65 a
60	6	4,85 a	4,76 a	5,36 a
	12	3,84 a	4,78 a	4,75 a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Alguns pesquisadores também têm observado efeito depressivo do gesso no crescimento e mesmo na germinação de sementes em solo salino-sódicos (AGRA & CAVALCANTE, 1992), como também na produção de arroz em solo sódico (FERREYRA & COELHO, 1986). Apesar de muitos trabalhos indicarem efeito benéfico do gesso na produção de matéria seca de várias culturas: feijão (CAVALCANTE & SILVEIRA, 1985; LAHAYE & EPSTEIN, 1971),

arroz (DUBEY *et al.*, 1987; TAKKAR & SINGH, 1978), assim como na produção de grãos (DUBEY & MONDAL, 1994).

Resultados de outros trabalhos, ao contrário do resultado obtido, indicam que aplicações isoladas de nitrogênio reduz a produção de matéria seca da cultura de milho (RAVIKOVITCH & YOLES, 1971b). Mas, assim como foi verificado no presente trabalho, a aplicação conjunta de nitrogênio e fósforo provocou maior produção de matéria seca.

Figura 9. Efeito das doses de nitrogênio (A e B) e fósforo (C e D) sobre a produção do material vegetal seco da parte aérea do feijoeiro, nos tratamentos com gesso, nitrogênio e fósforo

4.3.2. Absorção de Nutrientes

4.3.2.1. Macronutrientes

Na tabela 7 encontram-se os resultados dos efeitos do corretivo sobre a concentração de macronutrientes na parte aérea do feijão.

A análise de variância dos dados revela valores significativos a 5% de probabilidade para o nitrogênio, magnésio e enxofre, que apresentaram menores concentrações na dose de 12 g/kg de gesso.

Por outro lado, as quantidades totais de macronutrientes na parte aérea são mostrados na tabela 8. Tais valores exibem claramente redução em seus conteúdos com o aumento das doses de gesso aplicadas no solo, para todos os nutrientes.

Tabela 7. Efeito do gesso na concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro. Médias de 27 repetições.

Parâmetro	Gesso	
	6	12
	-----g.kg ⁻¹ -----	
N	27,70 a	29,80 b
P	4,15 a	3,95 a
K	29,19 a	28,19 a
Ca	24,09 a	24,14 a
Mg	6,81 a	6,43 b
S	6,98 a	6,56 b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Efeito do gesso no conteúdo de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro. Médias de 27 repetições.

Parâmetro	Gesso (g.kg^{-1})	
	6	12
-----g.vaso ⁻¹ -----		
N	132,82 a	125,77 b
P	20,05 a	16,93 b
K	139,08 a	117,62 b
Ca	114,28 a	97,34 b
Mg	32,58 a	27,17 b
S	33,01 a	27,32 b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Portanto, apesar da maior concentração dos nutrientes na parte aérea, na dose 12 g/kg de gesso, verifica-se que houve menor quantidade total absorvida, o que se deve a desbalanços na composição da solução do solo e a menor produção de matéria seca na dose máxima do corretivo.

A maior absorção de nitrogênio na dose mais elevada de gesso pode ser atribuída a melhoria das características físicas do solo, especialmente a condutividade hidráulica, proporcionando maior absorção de N após o contato íon-raiz por fluxo de massa. A redução na absorção de fósforo pode ter sido provocada pela sua precipitação como fosfato de cálcio, o que é confirmado pela inexistência de resposta à absorção do cálcio ou pela alta concentração de SO_4^{2-} . O potássio e o magnésio apresentaram concentração reduzida com aplicação de maior dose de corretivo, devendo-se a efeito antagônico do cálcio sobre os mesmos. A menor concentração de enxofre indica que a maior dose de gesso aplicado não proporcionou aumento na absorção desse nutriente.

Como existe efeito de salinidade sobre as plantas, após a lixiviação dos sais, tais resultados (efeito depressivo na absorção de macronutrientes na maior dose de gesso) pode ser atribuído a tal fato, já que quando aplicou-se 12 g/kg de gesso a análise de terra revelou maior condutividade elétrica no período que sucedeu a lixiviação dos sais (Tabela 4), tendência que foi comprovada após o cultivo do feijão. Possivelmente com a aplicação das altas doses do corretivo ocorram também desbalanços na composição da solução do solo devido a alta relação Ca/Mg (16/1) e de SO_4^{2-} provocando desequilíbrios nutricionais sobre as plantas. Outros autores têm verificado também menor crescimento de plantas devido a maior condição salina resultante do efeito específico dos sais de sulfato (MANCHANDA *et al.*, 1982) ou de sódio (LYNCH & LAUCHLI, 1985 ; CHAUHAN & KUMAR, 1993)

Na tabela 9 constam os valores referentes as concentrações dos macronutrientes na parte aérea das plantas de feijão, em função das doses de gesso, nos diferentes tratamentos de nitrogênio e fósforo.

A análise de variância exhibe o efeito do gesso nos vários tratamentos.

Verificou-se que para a concentração de nitrogênio e potássio, apesar da diferença significativa em alguns tratamentos, não foi observado nenhuma tendência quanto ao efeito do gesso nos vários tratamentos. Para o fósforo e o cálcio também observou-se mesmo comportamento encontrado quando comparou-se o efeito do gesso de forma geral, não se considerando os tratamentos nitrogenados e fosfatados: menor concentração de fósforo na parte aérea na maior dose de corretivo. Quanto ao magnésio, mostrou efeito significativo na ausência de nitrogênio e na dose 30 mg/kg N, na ausência de fósforo. Mas, em qualquer tratamento a concentração foi sempre menor na maior dose do corretivo. Fato também comprovado para o enxofre.

Tabela 9. Efeito do gesso na concentração dos macronutrientes na parte aérea do feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições

Doses		Gesso	N	P	K	Ca	Mg	S
N	P							
-----mg.kg ⁻¹ -----		g.kg ⁻¹	-----g.kg ⁻¹ -----					
00	00	6	25,67 a	3,01 a	25,16 a	24,30 a	5,60 a	6,79 a
		12	24,65 a	2,70 a	32,41 b	23,33 a	5,33 b	8,36 b
	100	6	20,22 a	3,32 a	26,49 a	25,17 a	6,37 a	7,63 a
		12	20,62 a	2,72 b	30,04 a	24,03 a	5,63 b	6,89 b
	200	6	18,94 a	4,29 a	26,64 a	27,83 a	6,80 a	8,70 a
		12	23,39 b	4,23 a	22,94 b	25,53 a	6,27 b	6,31 b
30	00	6	28,59 a	3,24 a	32,86 a	22,30 a	6,74 a	7,38 a
		12	30,77 b	3,17 a	30,78 a	23,90 a	6,27 b	6,49 b
	100	6	26,19 a	3,73 a	34,20 a	25,23 a	7,37 a	7,08 a
		12	26,89 a	3,37 b	33,75 a	23,33 a	6,47 a	5,66 b
	200	6	24,96 a	5,52 a	26,94 a	24,37 a	6,87 a	6,47 a
		12	28,75 b	5,01 a	27,53 a	25,33 a	7,27 a	6,06 a
60	00	6	32,92 a	3,80 a	36,41 a	20,97 a	6,40 a	5,64 a
		12	39,02 b	3,48 a	29,30 b	23,67 b	6,57 a	6,35 b
	100	6	35,34 a	4,61 a	32,41 a	23,57 a	7,23 a	6,88 a
		12	36,31 a	3,95 a	19,98 b	22,90 a	6,63 a	6,00 b
	200	6	36,41 a	6,31 a	21,61 a	24,07 a	7,93 a	6,29 a
		12	37,41 a	6,42 a	27,82 b	24,23 a	7,47 a	6,95 a

Médias, na vertical, seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Entretanto, considerando a concentração de todos os macronutrientes na parte aérea do feijão, pode-se depreender que nenhum deles encontram-se em níveis limitantes à produção, ao contrário, apresentam teores elevados, o que pode ser atribuído a um efeito de concentração decorrente do crescimento reduzido das plantas.

O efeito do gesso na quantidade total de macronutrientes absorvidos pelas plantas de feijão, representado na tabela 10, apresenta mesmo comportamento encontrado nas concentrações: o nitrogênio, potássio e enxofre não apresentaram tendência definida, e o fósforo, cálcio e magnésio exibiram menores conteúdos quando aplicou-se 12 g/kg de gesso no solo.

Tabela 10. Efeito do gesso sobre o conteúdo de macronutrientes absorvidos pelo feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições

Doses		Gesso	N	P	K	Ca	Mg	S
N	P							
mg.kg ⁻¹		g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹					
00	00	6	98,55 a	11,56 a	97,42 a	89,04 a	21,45 a	26,23 a
		12	87,59 a	9,62 a	115,61 a	86,69 a	18,98 a	29,73 a
	100	6	88,21 a	14,50 a	115,74 a	109,95 a	27,80 a	33,34 a
		12	81,50 a	10,77 b	118,68 a	95,05 b	22,27 b	27,30 b
	200	6	82,62 a	18,71 a	116,26 a	121,43 a	29,67 a	37,93 a
		12	92,85 b	16,78 a	90,94 a	101,44 a	24,89 a	25,09 b
30	00	6	133,32 a	15,13 a	153,72 a	104,02 a	31,48 a	34,54 a
		12	122,51 b	12,63 a	122,79 b	95,23 a	24,97 b	25,85 b
	100	6	132,21 a	18,79 a	172,68 a	127,29 a	37,16 a	35,73 a
		12	112,80 b	14,18 b	141,81 b	98,20 b	27,20 b	23,82 b
	200	6	137,50 a	27,49 a	148,83 a	134,12 a	37,76 a	35,56 a
		12	133,51 a	25,61 a	128,15 a	117,90 a	33,79 a	28,20 b
60	00	6	159,65 a	18,48 a	176,88 a	101,59 a	31,03 a	27,26 a
		12	150,23 a	13,40 a	112,81 b	90,56 a	25,15 a	24,35 a
	100	6	168,02 a	21,89 a	154,27 a	112,08 a	34,35 a	32,71 a
		12	173,16 a	18,90 a	95,65 b	75,84 a	31,76 a	28,62 b
	200	6	195,31 a	33,87 a	115,92 a	129,03 a	42,54 a	33,80 a
		12	177,79 a	30,48 a	132,14 a	115,14 a	35,45 a	33,02 a

Médias verticalmente seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Possivelmente a aplicação das doses 50 e 100% da necessidade máxima de gesso recomendada, tenha correspondido a teores excessivos sob o ponto de vista de nutrição mineral de plantas, apesar de mostrarem-se adequados, segundo a lixiviação do excesso de sódio e sais de um solo salino sódico.

O elevado poder tampão do solo, favorecido pela concentração em cálcio e minerais facilmente intemperizáveis, pode ter permitido uma contínua solubilização de sais e Na^+ trocável, tornando a solução do solo desbalanceada em relação as exigências nutricionais das plantas, acarretando redução em seu crescimento.

Outros trabalhos também relatam redução na concentração de nutrientes nos maiores níveis de gesso, especificamente para o fósforo e magnésio (GUPTA & GUPTA, 1990).

Através de análises de regressão observa-se que houve efeito significativo, linear e quadrático, para a maioria dos macronutrientes, tanto na dose de 6 g/kg de gesso (Figura 10), quanto na de 12 g/kg (Figura 11).

O aumento nas doses de nitrogênio proporcionou maior absorção dele próprio (Figura 10A), do fósforo (Figura 10B), do potássio (Figura 10C) e do magnésio (Figura 10E). Para qualquer um desses nutrientes houve maior resposta a aplicação do nitrogênio nos tratamentos com fósforo, inclusive com efeito quadrático, para o caso dos teores de magnésio. Tal tendência não foi confirmada para potássio (Figura 10C), cálcio (Figura 10D) e enxofre (Figura 10F), onde os níveis crescentes de nitrogênio provocaram efeito depressivo na absorção desses nutrientes, principalmente para o cálcio e enxofre. O mesmo comportamento foi constatado na maior dose de gesso (figura 11). Nesses tratamentos, a maior absorção de nitrogênio, fósforo e magnésio justifica a aplicação de fonte nitrogenada em solos salino sódico. Quanto a falta de resposta por parte do cálcio e enxofre, pode ser consequência de suas concentrações excessivas no solo devido a aplicação do gesso.

Os resultados da literatura quanto a absorção do nitrogênio pelas plantas desenvolvidas em solos de reação alcalina tem sido conflitantes. Alguns tem observado aumento na absorção de N em plantas cultivadas tanto em solos salino-sódicos (RAI, 1992), quanto em solos sódicos (STEPPUHN *et al.*, 1994; SINGH & SHARMA, 1993), enquanto outros trabalhos indicam redução no crescimento das plantas com o aumento das doses de N aplicadas em solos salinos (RAVIKOVITCH & YOLES, 1971a,b ; SHAVIN & HAGIN, 1993).

Figura 10. Efeito das doses de nitrogênio sobre a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de fósforo, com 6 g/kg de gesso aplicado no solo

Figura 11. Efeito das doses de nitrogênio sobre a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de fósforo, com 12 g/kg de gesso aplicado ao solo

O efeito das doses de fósforo na concentração de macronutrientes na parte aérea do feijão está representado nas figuras 12 e 13. A aplicação das doses crescentes de fósforo provocou aumento na concentração de nitrogênio (figura 12A), fósforo (Figura 12B) e magnésio (Figura 12E), principalmente na presença de nitrogênio.

Quanto aos teores de potássio (Figura 12 C), cálcio (Figura 12D) e enxofre (Figura 12F) na parte aérea, os tratamentos com maior dose de fósforo produziram resultados positivos apenas para os dois últimos, mas com valores inferiores aos da testemunha. Para o potássio houve efeito positivo até a dose de 100 mg/kg de P.

Na dose de 12 mg/kg de gesso o efeito do fósforo foi mais expressivo na absorção dele próprio (Figura 13B), do magnésio (Figura 13E) e do enxofre (Figura 13F) principalmente quando foi aplicado conjuntamente com o nitrogênio. Para o nitrogênio (Figura 13A), apesar de haver maior concentração desse nutriente na parte aérea, não houve significância com os níveis crescentes de fósforo. No caso do potássio (Figura 13C) ocorreu efeito quadrático quando se aplicou 30 mg/kg de N. Quanto ao cálcio (Figura 13 D) as doses de fósforo não afetaram significativamente sua concentração na parte aérea do feijão.

Em ambos os níveis de gesso aplicado no solo, as doses de fósforo aumentaram significativamente a concentração dele próprio na parte aérea do feijão. Isso comprova a necessidade de aplicá-lo em solos que receberam tratamento prévio com gesso, mesmo que o solo apresente altas concentrações de fósforo como é o caso do solo em estudo, o que confirma a elevada adsorção do fósforo natural devido a presença de altas concentrações de cálcio. Resultados compatíveis com os de CHHABRA (1981), BARROW (1984) e CURTIN (1987).

Outros trabalhos também indicam significativo aumento na absorção de fósforo e na produção de matéria seca do feijão após aplicação de ácido fósfórico sob condições de salinidade (ZAITER & SAADE, 1993).

Figura 12. Efeito das doses de fósforo sobre a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de nitrogênio, a 6 g/kg de gesso aplicado no solo

Figura 13. Efeito das doses de fósforo sobre a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de nitrogênio, com 12 g/kg de gesso aplicado no solo

Desse modo pode-se inclusive concluir que a aplicação de fertilizantes fosfatados, de reação ácida, pode aumentar a tolerância a salinidade de culturas agrícolas. Apesar de não ter sido verificado simultâneo aumento na absorção de outros macronutrientes, especificamente o K, Ca e S, o que se deve a um provável desbalanço no solo, em decorrência das altas dosagens de gesso requerida na correção de solos salino-sódicos. Uma possível alternativa seria a aplicação de menores percentuais da necessidade máxima de gesso recomendada.

As figuras 14 e 15 apresentam o efeito do nitrogênio na quantidade total de macronutrientes absorvida pela parte aérea do feijão, respectivamente a 6 e 12 g/kg de gesso.

Os conteúdos de N (Figura 15A), P (figura 15B) e Mg (Figura 15E), assim como sua concentração, são maiores nos tratamentos com dosagens mais elevadas de nitrogênio e fósforo. Mesma tendência foi confirmada para o K (figura 15C) e Ca (Figura 15D), mas esses apresentaram conteúdos mais elevados na ausência de fósforo (e maior dose de N) para o 1º e na maior dose de fósforo para o 2º. Já o S (Figura 15F) apresentou conteúdos reduzidos com os níveis crescentes de nitrogênio, nos tratamentos com fósforo.

Para os conteúdos de Ca e K, houve um claro efeito de diluição: suas menores concentrações na parte aérea corresponderam a maior conteúdo total absorvido, o que se justifica pela maior produção de matéria seca com a aplicação de nitrogênio (figura 9).

Na maior dose de gesso (Figura 15) foi obtido resultado similar, comprovando o efeito positivo do nitrogênio na absorção de macronutrientes, inclusive para os conteúdos de enxofre, fato não ocorrido na menor dose de gesso.

Figura 14. Efeito das doses de nitrogênio sobre os conteúdos de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de fósforo, a 6 g/kg de gesso aplicado no solo

Figura 15. Efeito das doses de nitrogênio sobre os conteúdos de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de fósforo, a 12 g/kg de gesso aplicado no solo

O efeito das doses de fósforo na absorção de macronutrientes, pelo feijão a 6 (figura 16) e 12g/kg de gesso (Figura 17), indica que ocorreu aumento na quantidade total absorvida para todos os nutrientes, especialmente na presença de nitrogênio. Os efeitos mais significativos foram verificados na absorção do nitrogênio (Figura 16A), fósforo (Figura 16B), cálcio (Figura 16 D) e magnésio (Figura 16 E), preferencialmente na maior dose de nitrogênio. A mesma tendência foi encontrada para o nitrogênio (Figura 17A), fósforo (Figura 17B), potássio (Figura 17C), cálcio (Figura 17D), magnésio (Figura 17E) e enxofre (Figura 17F).

O aumento na quantidade total absorvida dos macronutrientes confirma a necessidade de fertilização de solos salino-sódicos, após o emprego de práticas corretivas; apesar de tais solos apresentarem altos níveis de fertilidade química.

Figura 16. Efeito das doses de fósforo sobre os conteúdos de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de nitrogênio, a 6 g/kg de gesso aplicado no solo

Figura 17. Efeito das doses de fósforo sobre os conteúdos de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na parte aérea do feijoeiro nos diferentes níveis de nitrogênio, com 12 g/kg de gesso aplicado ao solo.

4.3.2.2. Micronutrientes

A tabela 11 apresenta o efeito do gesso na concentração de micronutrientes na parte aérea do feijão.

A análise de variância revelou efeito significativo, a 5% de probabilidade, apenas para o ferro. A tabela 12 exibe mesmo resultado quanto a quantidade total de Fe, Mn, Zn e Cu absorvidos.

Tabela 11. Efeito do gesso na concentração de micronutrientes na parte aérea do feijoeiro. Média de 27 repetições.

Parâmetro	Gesso (g.kg ⁻¹)	
	6	12
	-----mg.kg ⁻¹ -----	
Fe	197,74 a	245,81 b
Mn	60,29 a	60,74 a
Zn	20,85 a	20,65 a
Cu	7,39 a	7,26 a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 12. Efeito do gesso no conteúdo de micronutrientes na parte aérea do feijoeiro. Médias de 27 repetições.

Parâmetro	Gesso(g.kg ⁻¹)	
	6	12
	-----µg.vaso ⁻¹ -----	
Fe	923,96 a	1041,74 b
Mn	289,67 a	257,11 b
Zn	98,34 a	86,00 b
Cu	35,15 a	30,51 b

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As maiores concentrações e conteúdos de Fe na dose mais elevada do corretivo não se deve a aumento de sua disponibilidade no solo provocado pela redução do pH (Tabela 4), pois nesse caso os demais micronutrientes necessariamente apresentariam mesmo efeito. Possivelmente seja consequência da maior precipitação de íons HCO_3^- ($\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) devido as altas concentrações de cálcio presente, já que excesso de HCO_3^- pode induzir desordens fisiológicas, ou seja, imobilizar o Fe^{2+} no interior das plantas (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Avaliando os resultados apresentados na tabela 13, que mostra o efeito do gesso na concentração do Fe, Mn, Zn e Cu, na parte aérea do feijão, nos vários tratamentos com nitrogênio e fósforo, nota-se que a maior absorção de Fe ocorreu no nível mais elevado de nitrogênio (60 mg/kg). Para o Mn, Zn e Cu confirmou-se a tendência de efeito depressivo nos maiores níveis do corretivo, inclusive para as quantidades totais absorvidas (Tabela 14).

O único micronutriente que apresenta concentração na parte aérea em níveis adequados segundo DANTAS *et al.* (1979) é o cobre; o que permite inferir sobre a necessidade da aplicação do Zn, Fe e Mn no solo salino-sódico.

Pela figura 18 verifica-se que as doses de nitrogênio aplicadas no solo proporcionaram um aumento na concentração de manganês (Figura 18A), cobre (Figura 18C) e ferro (Figura 18D), especialmente na presença de fósforo. Quanto ao zinco sofreu redução. Os mesmos tratamento de nitrogênio quando aplicados na maior dose do corretivo proporcionaram mesmo resultado, inclusive para o zinco (Figura 19B). A redução do pH do solo provocado pela reação NH_4NO_3 associado com o efeito do H_3PO_4 é a possível explicação para tal resultado.

Para o zinco esse efeito positivo apenas foi verificado na maior dose do corretivo, 12 mg/kg, devido provavelmente a menor influência dos sais de sódio no solo.

Tabela 13. Efeito do gesso sobre a concentração de micronutrientes na parte aérea do feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições

Doses		Gesso				
N	P		Fe	Zn	Mn	Cu
----mg.kg ⁻¹ ----		g.kg ⁻¹	-----mg.vaso ⁻¹ -----			
00	00	6	193,33 a	24,00 a	47,67 a	8,00 a
		12	183,67 a	22,83 a	41,67 a	6,97 b
	100	6	173,00 a	22,33 a	51,33 a	6,54 a
		12	189,00 a	17,00 b	51,00 a	6,30 a
	200	6	178,33 a	19,83 a	76,67 a	5,64 a
		12	190,67 a	17,17 a	81,33 a	5,57 a
30	00	6	191,00 a	21,33 a	46,67 a	8,03 a
		12	291,33 a	23,83 a	52,00 b	7,30 a
	100	6	227,67 a	21,83 a	56,67 a	7,94 a
		12	227,33 a	18,67 b	61,33 a	7,00 b
	200	6	206,33 a	17,83 a	79,00 a	6,54 a
		12	251,67 b	19,17 b	73,67 a	6,43 a
60	00	6	216,33 a	20,33 a	44,67 a	8,37 a
		12	265,33 b	26,83 b	50,33 b	7,97 a
	100	6	172,00 a	21,17 a	52,33 a	8,80 a
		12	334,67 b	19,17 b	54,33 a	7,40 b
	200	6	185,67 a	19,00 a	87,67 a	9,50 a
		12	278,67 b	21,17 b	81,00 b	7,97 b

Médias na vertical, seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 14. Efeito do gesso no conteúdo de micronutrientes absorvidos pelo feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições

Doses		Gesso				
N	P		Fe	Zn	Mn	Cu
---mg.kg ⁻¹ ----		g.kg ⁻¹	-----mgvaso ⁻¹ -----			
00	00	6	745,00 a	91,67 a	181,33 a	30,67 a
		12	652,67 a	81,33 a	148,00 a	25,00 a
	100	6	754,67 a	97,33 a	223,67 a	28,67 a
		12	746,00 a	67,00 b	201,33 b	24,33 a
	200	6	777,33 a	86,67 a	333,00 a	24,00 a
		12	756,33 a	68,00 a	321,67 a	21,67 a
30	00	6	892,33 a	99,67 a	216,33 a	34,33 a
		12	1159,67 b	95,00 a	207,33 a	32,00 a
	100	6	1147,00 a	109,67 a	286,00 a	40,33 a
		12	955,00 b	78,33 b	258,00 a	29,33 b
	200	6	1135,00 a	98,33 a	432,00 a	35,00 a
		12	1171,00 a	89,00 a	342,33 b	30,33 a
60	00	6	1048,33 a	99,00 a	216,00 a	38,67 a
		12	1019,67 a	103,00 a	192,33 a	31,67 a
	100	6	817,33 a	100,67 a	248,33 a	42,00 a
		12	1593,67 b	91,67 a	258,67 a	35,00 b
	200	6	998,67 a	102,00 a	470,33 a	42,67 a
		12	1321,67 b	100,67 a	384,33 b	45,33 a

Médias, na vertical, seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade teste de Tukey.

Figura 18. Efeito das doses de nitrogênio sobre a concentração de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de fósforo, com 6 g/kg de gesso

Figura 19. Efeito das doses de nitrogênio sobre a concentração de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de fósforo, com 12g/kg de gesso

As figuras 20 e 21 indicam um aumento na concentração de manganês (Figura 20A), cobre (Figura 20C) e ferro (Figura 20D), na parte aérea do feijão segundo os níveis crescentes de fósforo aplicados no solo, enquanto que para o zinco há um decréscimo.

Figura 20. Efeito das doses de fósforo sobre a concentração de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de nitrogênio, com 6g/kg de gesso

Figura 21. Efeito das doses de fósforo sobre a concentração de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de nitrogênio, com 12g/kg de gesso

A alta acidez da fonte de fósforo (H_3PO_4), reduziu o pH, aumentando a disponibilidade de micronutrientes para as plantas. Efeito não verificado para o zinco, onde prevaleceu efeitos antagônicos entre os íons H_2PO_4^- e Zn^{2+} .

A figura 22 apresenta quantidades totais absorvidas respectivamente a 6 e 12 mg/kg de gesso. Observa-se que houve um aumento na absorção de manganês (Figura 22A), zinco (Figura 22B), cobre (Figura 22C) e ferro (Figura 22D), preferencialmente na presença de fósforo. Analisando a

figura 23 observa-se o efeito benéfico dos níveis de nitrogênio na absorção de ferro, manganês, zinco e cobre. Tais resultados reforçam àqueles referentes às concentrações dos micronutrientes na parte aérea. Tendência idêntica foi verificado no efeito de fósforo nos conteúdos de manganês, zinco, cobre e ferro presentes na parte aérea do feijão (Figuras 24 e 25).

Figura 22. Efeito das doses de nitrogênio sobre o conteúdo de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de fósforo, com 6g/kg de gesso

Figura 23. Efeito das doses de nitrogênio sobre os conteúdos de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de fósforo, com 12g/kg de gesso

Figura 24. Efeito das doses de fósforo sobre os conteúdos de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de nitrogênio, com 6g/kg de gesso

Figura 25. Efeito das doses de fósforo sobre os conteúdos de manganês (A), zinco (B), cobre (C) e ferro (D) na parte aérea do feijoeiro, nos diferentes níveis de nitrogênio, com 12g/kg de gesso

4.3.3. Aproveitamento de Nitrogênio, Fósforo e Enxofre

O efeito das doses do corretivo no aproveitamento do nitrogênio, fósforo e enxofre é apresentado na tabela 15.

Tabela 15. Efeito do gesso no aproveitamento de fósforo, nitrogênio e enxofre pela cultura do feijão. Média de 27 repetições.

Parâmetro	Gesso (g.kg ⁻¹)	
	6	12
	----- % -----	
N	40,61 a	42,31 a
P	8,65 a	7,18 b
S	8,03 a	4,93 b

Médias, na horizontal, seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise de variância revelou significância apenas para o fósforo e enxofre, onde se verifica efeito depressivo dos níveis de gesso sobre o aproveitamento desses nutrientes.

A redução no aproveitamento de fósforo deve-se a efeito das altas concentrações de cálcio existente na solução do solo na maior dose do corretivo. Quanto ao enxofre, como foi aplicado 150 mg de enxofre marcado nos dois níveis de corretivo, possivelmente a maior proporção de SO_4^{2-} natural disponível em relação ao $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ marcado tenha ocasionado menor absorção da segunda fonte.

Quanto ao efeito do gesso no aproveitamento de nitrogênio, fósforo e enxofre, observou-se mesma tendência geral, com pouca influência das fontes nitrogenada e fosfatada utilizadas (Tabelas 16, 17 e 18).

Tabela 16 Efeito do gesso no aproveitamento de nitrogênio pelo feijoeiro nas várias doses de Nitrogênio e Fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições.

Doses		Gesso (g.kg ⁻¹)	
N	P	6	12
-----mg.kg ⁻¹ -----		-----%-----	
30	00	39,33 a	38,43 a
	100	39,68 a	39,68 a
	200	40,62 a	49,01 b
60	00	36,08 a	36,20 a
	100	40,07 a	40,75 a
	200	47.89 a	49.81 a

Médias, na horizontal, seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 17. Efeito do gesso no aproveitamento de fósforo pelo feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições.

Doses		Gesso (g.kg ⁻¹)	
N	P	6	12
-----mg.kg ⁻¹ -----		------%-----	
00	100	4,80 a	5,66 a
	200	8,77 a	6,55 b
30	100	8,04 a	7,93 a
	200	8,92 a	8,38 a
60	100	9,33 a	6,81 b
	200	12,05 a	7,75 b

Médias, na horizontal, seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 18. Efeito do gesso no aproveitamento do enxofre pelo feijoeiro nas várias doses de nitrogênio e fósforo aplicadas no solo. Média de três repetições.

N	Doses	Gesso (g.kg ⁻¹)	
	P	6	12
-----mg.kg ⁻¹ -----		-----%	
00	00	9,26 a	6,77 b
	100	7,37 a	7,74 a
	200	7,36 a	2,63 b
30	00	10,39 a	6,66 a
	100	9,94 a	7,02 a
	200	9,19 a	1,57 b
60	00	7,80 a	6,19 a
	100	6,78 a	5,13 b
	200	4,22 a	0,66 b

Médias, na horizontal, seguidas por letras distintas diferem entresi a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os aproveitamentos médios do nitrogênio, fósforo e enxofre, respectivamente de 41, 8 e 6% comprovam a importância de suas aplicações em solos salino-sódicos como alternativa para reduzir os efeitos prejudiciais da concentração excessiva de sais e sódio sobre as plantas. Isso confirma que o gesso, além de corrigir propriedades físicas e químicas desfavoráveis dos solos salino-sódicos também funciona como fonte de nutrientes às plantas.

Quanto ao aproveitamento do nitrogênio em ambas as doses do corretivo, não revelou significância, apesar de predominar correlação positiva, segundo os níveis crescentes de fósforo (Figura 26).

Por outro lado o aproveitamento de fósforo mostra efeito positivo, segundo as doses crescentes de nitrogênio, apenas na menor dose de gesso (Figura 27).

Figura 26. Efeito das doses de fósforo no aproveitamento de nitrogênio (AN) nos dois níveis de nitrogênio, a 6g/kg (A) e 12g/kg (B) de gesso aplicado no solo

Figura 27. Efeito das doses de nitrogênio sobre o aproveitamento de fósforo (AP) nos dois níveis de fósforo, a 6g/kg (A) e 12g/kg (B) de gesso aplicado no solo

A aplicação de 30 mg/kg de nitrogênio aumentou o aproveitamento de enxofre pelo feijão (Figura 28A), fato não verificado na dose mais elevada do corretivo (Figura 28B) e no efeito das doses de fósforo (Figuras 29A e B), onde os maiores níveis de nutrientes aplicados no solo resultam numa redução de aproveitamento de enxofre, o que pode ser atribuído a inibição da absorção do SO_4^{2-} devido às maiores concentrações de fósforo.

Figura 28. Efeito das doses de nitrogênio sobre o aproveitamento do enxofre (AS) nos dois níveis de fósforo, a 6g/kg (A) e 12g/kg (B) de gesso aplicado no solo

Figura 29. Efeito das doses de fósforo sobre o aproveitamento do enxofre (AS) nos dois níveis de nitrogênio, a 6g/kg (A) e 12g/kg (B) de gesso aplicado no solo

Portanto, apesar da maior dose do corretivo ter acarretado intensa lixiviação de sais e sódio, essa correção não tornou a composição iônica da solução do solo mais compatível com as reais exigências de nutrientes pelas plantas, o que pode ser consequência da alta concentração de gesso utilizado ou do elevado poder tampão do solo salino-sódico.

5. CONCLUSÕES.

A prática de incorporação de gesso, com posterior percolação de água, revelou-se uma técnica eficaz de correção de solos salino-sódicos em curto espaço de tempo. Mas, por provocar desbalanços na composição iônica da solução do solo, há necessidade de ajustamentos nos teores iônicos do solo no que se refere às exigências nutricionais das plantas.

O gesso apresentou um elevado poder residual, na correção de solo salino-sódico, após a aplicação da técnica de lavagem.

As altas dosagens de gesso aplicadas mostraram-se eficientes, na eliminação do excesso de sais e de sódio trocável do solo salino-sódico, mas não originaram condições favoráveis ao aproveitamento e a absorção de nutrientes pelas plantas.

A aplicação conjunta de fontes nitrogenadas e fosfatadas, com reação ácida, tenderam a aumentar a absorção de nutrientes pelo feijoeiro vigna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABROL, I.P. & BHUMBLA, D.R. Crop responses to differential gypsum applications in a highly sodic soil and the tolerance of several crops to exchangeable sodium under field conditions. **Soil Science, Baltimore**, **127**(2):79-85, 1979.
- ACHARYA, C.L. & ABROL, I.P. Exchangeable sodium and soil water behaviour under field conditions. **Soil Science, Baltimore**, **125**(5):310-319, 1978.
- AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formulation. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, **45**:848-851, 1981.
- AGASSI, M.; SHAINBERG, I.; MORIN, J. Slope, aspect, and phosphogypsum effects on run off and erosion. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, **54**:1102-1106, 1990.
- AGRA, M.G. & CAVALCANTE, L.F. Efeito da drenagem e gesso agrícola num solo irrigado afetado por sais. **Revista Ciência Agrícola, Areia**, 1992. (no prelo).

ALCORDO, I.S. & RECHCIGL, J.E. Phosphogypsum in agriculture: A review. **Advances in Soil Science**, New York, **49**:55-103, 1993.

ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I.; KEREN, R. Specific effect of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, **32**:543-554, 1981.

ARAÚJO, R.C.; CAVALCANTE, L.F.; ARRUDA, N.T. Efeito do gesso sobre a lixiviação de sais de um solo irrigado. **Revista Universitária de Agronomia e Zootecnia**, Areia, 1992. (no prelo).

ARMSTRONG, A.S.B. & TANTON, T.W. Gypsum applications to aggregated saline-sodic clay topsoils. **Journal of Soil Science**, Oxford, **43**:249-260, 1992.

AYLMORE, L.A.G. & SILLS, I.D. Characterization of soil structure and stability using nodules of rupture-exchangeable sodium percentage relationships. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, **20**:213-224, 1982.

BARLEY, K.P. & HUTTON, J.T. Effects of a lowland rice crop and of gypsum on a saline alkali clay. **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, **7**:110-26, 1956.

BARROS, M. de F.C. & MAGALHÃES, A.F. Avaliação de métodos de determinação da necessidade de gesso em solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **13**:119-123, 1989.

- BARROW, N.J. Modelling the effects of pH on phosphate sorption by soils. **The Journal of Soil Science, Oxford**, 35:183-197, 1984.
- BATISTA, R.B. Solos do semi-árido da Paraíba afetado por sódio: Mineralogia e síntese de minerais. Viçosa, 1988, 129p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa).
- BEN-ZIONI, A.; ITAI, C.; VAADIA, Y.. Water and salt stresses, kinetin and protein synthesis in tobacco leaves. **Plant Physiology, Lancaster**, 42:361-365, 1967.
- BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. **Annual Review of Plant Phytopathology, Stanford**, 13:295-312, 1975.
- BERNSTEIN, L. & HAYWARD, H.E. Physiology of salt tolerance. **Annual Review of Plant Physiology, Lancaster**, 9:25-46, 1958.
- BLACK, A.S. & ABDUL-HAKIN, B.M.S. Soil structure effects and leaching of sodium following sodium chloride fertilizer applications. **New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington**, 27:399-403, 1984.
- CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física do solo do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (IAC. Boletim técnico, 106).

- CAVALCANTE, L.F. Efeito do fosfogesso em solos salinizados da Paraíba cultivados com feijão *Vigna* (*Vigna unguiculata* L. Walp). Piracicaba, 1984. 94p. (Tese de Doutorado-USP/ESALQ).
- CAVALCANTE, L.F. & SILVEIRA, R.I. Importância do fosfogesso como fonte de cálcio, enxofre e na redução de sódio de um solo salino-sódico da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 10, Belém, 1985. Artigo 118. (Resumo).
- CHAUDHRY, G.H. & WARKENTIN, B.P. Studies on exchange of sodium from soils by leaching with calcium sulfate. *Soil Science*, Baltimore, **105**(3):191-197, 1968.
- CHAUHAN, R.P.S. Comparative efficiency of gypsum and iron pyrites in sodic soils reclamation. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, New Dehli, **40**(2):404-405, 1992.
- CHAUHAN, R.P.S. & KUMAR, S. Effect of residual sodium carbonate in irrigation water on soil properties and yield of gram (*Cicer arietinum*), pea (*Pisum sativum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Dehli, **63**(12):821-824, 1993.
- CHHABRA, R. Crop responses to phosphorus and potassium fertilization of a sodic soil. *Agronomy Journal*, Madison, **77**:699-702, 1985.
- CHHABRA, R. & ABROL, I.P. Reclaiming effect of rice grown in sodic soils. *Soil Science*, Baltimore, **124**:49-55, 1977.

- CHHABRA, R.; ABROL, I.P.; SINGH, M.V. Dynamics of phosphorus during reclamation of sodic soils. *Soil Science*, Baltimore, **132**(5):319-324, 1981.
- CHURCHMAN, G.J.; SKJEMSTAD, J.O.; OADES, J.M. Influence of clay minerals and organic matter on effects of sodicity on soils. *Australian Journal of Soil Science*, East Melbourne, **31**(6):779-800, 1993.
- CORDEIRO, G.G.; BARRETO, A.N.; CARVAJAL, A.C.N. Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de irrigação de São Gonçalo (2ª parte). *Documentos*, 54. Petrolina, 1988. 57p.
- CRAMER, G.; LAUCHLI, A.; POLITO, V.S. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. *Plant Physiology*, Lancaster, **79**:207-211, 1985.
- CRAMER, G.R. & LAUCHLI, A. Ion activities in solution in relation to Na^{+} - Ca^{2+} interactions at the plasmalemma. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, **37**(176):321-330, 1986.
- CROCKER, W. Sulfur deficiency in soils. *Soil Science*, Baltimore, **60**:149-155, 1945.
- CRUZ-ROMERO, G. & COLEMAN, N.T. Reactions responsible for high pH of Na-saturated soils and clays. *Journal of Soil Science*, Oxford, **26**(2):169-175, 1975.

- CURTIN, D.; SYERS, J.K.; SMILLIE, G.W. The importance of exchangeable cations and resin-sink characteristics in the release of soil phosphorus. *Journal of Soil Science, Oxford*. **38**:711-716, 1987.
- DANTAS, J.P.; BERGAMIN FILHO, H.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre nutrição mineral do feijão macassar (*Vigna sinensis* (L.) (Endl). III. Efeitos das carências de micronutrientes no crescimento, produção e composição mineral das folhas. *Anais da ESALQ, Piracicaba*, **36**:259-267, 1979.
- DUBEY, S.K. & MONDAL, R.C. Effect of amendments and saline irrigation water on soil properties and yields of rice and wheat in a highly sodic soil. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, **122**:351-357, 1994.
- DUBEY, S.K.; MONDAL, R.C.; SWARUP, A. Effect of gypsum and pyrite with different moisture regimes on sodic soil improvement and rice yield. *International Rice Research Newsletter, New Delhi*, **12**(6):35, 1987.
- DURANG, J.H. *Les sols irrigables - étude pedologique*. 1. ed. Paris. Press France, 1983. 352 p.
- DUTT, G.R. Effect of small amounts of gypsum in soils on the solutes in effluents. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*, **28**:754-757, 1964.
- EL-BARADI, T.A. Pulses. 1-Cowpeas. *Abstracts on Tropical Agriculture, Washington*, **1**(II):9-19, 1975.

EMBRAPA - SNLC. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1979.

EMERSON, W.W. Aggregate slaking and dispersion class, bulk properties of soil. Australian Journal of Soil Research, East Melbourne, 32:173-184, 1994.

EMERSON, W.W. & BAKKER, A.C. The comparative effects of exchangeable calcium, magnesium and sodium on some physical properties of red-brown earth subsoils. II. The spontaneous dispersion of aggregates in water. Australian Journal of Soil Research, East Melbourne, 11:151-157, 1973.

EMERSON, W.W. & CHI, C.L. Exchangeable calcium, magnesium and sodium, and the dispersion of illites in water. II, Dispersion of illites in water. Australian Journal of Soil Research, East Melbourne, 15:255-262, 1977.

FENN, L.B. & KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. I. General theory. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37:855-859, 1973.

FERREYRA, H.F.F. & COELHO, M.A. Efeito de doses de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10:157-161, 1986.

FIRAKE, N.N. & PAMPATTIWAR, P.S. Note on the effect of subsurface drainage and gypsum on leaching of salts in a sodic soil. Current Agriculture, Philadelphia, 15(1-2):71-73, 1991.

FIXEN, P.E. Phosphorus management can reduce the effects of soil salinity. **Better crops with plant food**, Atlanta, 76(4): 24-25, 1992.

FOTH, H.D. & TURK, L.M. **Fundamentals of soil science**. 15 ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 454p.

FREITAS, J.A.de; COELHO, M.A.; FERREIRA, H. F.F. Efeito de corretivos químicos e materiais orgânicos no movimento da água e estrutura de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 8(3):261-264, 1984.

FRENKEL, H.; FEY, M.V.; LEVY, G.J. Organic and inorganic anion effects on reference and soil clay critical flocculation concentration. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 56:1762-1766, 1992.

GAL, M.; ARCAN, L.; SHAINBERG, I.; KEREN, R. Effect of exchangeable sodium and phosphogypsum on crust structure-scanning electron microscope observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 48:872-878, 1984.

GILL, K.S. & SINGH, O.S. Effect of salinity and forms of nitrogen on growth, nitrogen metabolism and chemical composition of rice varieties at seedling stage. **Journal of Potassium Research**, New Dehli, 8:255-263, 1992.

- GILL, K.S.; OADAR, A.; SINGH, K.N. Response of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes to sodicity in association with waterlogging at different stages of growth. *Indian Journal of Agricultura Sciences*, New Dehli, **62**(2):124-128, 1992.
- GLEW, D.N. & HAMES, D.A. Gypsum, disodium, pentacalcium sulfate and anhydrite solubilities in concentrated sodium chloride solutions. *Canadian Journal of Chemistry*, Ottawa, **48**:3733-3738, 1970.
- GOLDBERG, S. & FORSTER, H.S. Flocculation of reference claus and arid-zone soil clays. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **54**:714-718, 1990.
- GRAVELAND, D.N. & TOOGOOD, J.A. Gypsum as an ameliorating agent for solonetzic soils in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, **43**:1-6, 1963.
- GREENE, R.S.B. & FORD, G.W. The effect of gypsum on cation exchange in two red duplex soils. *Australian Journal of Soil Research*, East Melbourne, **23**:61-74, 1985.
- GUPTA, J.P. & GOI, A.T.R. Effect of gypsum application on physico-chemical characteristics of sodic soil and crop yield of rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agronomy*, New Dehli, **37**(4):812-814, 1992.

- GUPTA, R.K. & ABROL, I.P. Salt-affected soils: their reclamation and manegement for crop production. **Advances in Soil Sciences**, New York, 11:224-88, 1990.
- GUPTA, R.K.; BHUMBIA, D.K.; ABROL, I.P. Effect of sodicity pH, organic matter, and calcioum carbonate on the dispersion behaviour of soils. **Soil Science**, Baltimore, 137(4):245-251, 1984.
- GUPTA, R.K.; SINGH, C.P.; ABROL, I.P. Determining cation exchange capacity and exchangeable sodium in alkali soils. **Soil Science**, Baltimore, 139(4):326-332, 1985.
- GUPTA, R.K.; SINGH, R.R.; TANJI, K.K. Phosphorus release in sodium ion dominated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, 54:1254-1260, 1990.
- GUPTA, S.P. & GUPTA, V.K. Effect of zinc and gypsum on Ca, Mg, Na, K and P nutrition of soybean (*Glycine max* L.) in sodic soil. **Indian Journal of Agricultural Research**, New Delhi, 24(2):103-109, 1990.
- HELAL, H.M. & MENGEL, K. Nitrogen metabolism of young barley plants as affected by NaCl-salinity and potassium. **Plant and Soil**, The Hague, 51:457-462, 1979.
- HELYAR, K.R.; MUNNS, D.N.; BURAU, R.G. Adsorption of phosphate by gibbsite. I. Effects of neutral chloride salts of calcium, magnesium, sodium and potassium. **Journal of Soil Science**, Oxford, 27:307-314, 1976.

- HIRA, G.S. & SINGH, N.T. Irrigation water requirement for dissolution of gypsum in sodic soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **44**:930-933, 1980.
- JACOBS, H.S. & JORDAN, J.V. Laboratory preparation of $\text{Ca}^{45}\text{CO}_3$ and $\text{Ca}^{45}\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Science**, Washington, **120**:801-802, 1954.
- JEWITT, T.N. Loss of ammonia from ammonium sulfate applied to alkaline soils. **Soil Science**, Baltimore, **54**(6):401-409, 1942.
- JOHNSON, D.D. & GUENZI, W.D. Influence of salts on ammonium oxidation and carbon dioxide evolution from soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Baltimore, **27**:663-666, 1963.
- JONES, S.B.; ROBBINS, C.W.; HANSEN, C.L. Sodic soil reclamation using cottage cheese (acid) whey. **Arid Soil Research and Rehabilitation**, Ottawa, **7**(1):51-61, 1993.
- KAZMAN, Z.; SHAINBERG, I.; GAL, M. Effect of low levels of exchangeable sodium and applied phosphogypsum on the infiltration rate of various soils. **Soil Science**, Baltimore, **135**(3):184-192, 1983.
- KELLEY, W.P. & BROWN, S.M. Principles governing the reclamation of alkali soils. **Hilgardia**, Berkeley, **8**:149-177, 1934.
- KEREN, R. & SHAINBERG, I. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, **45**:103-107, 1981.

KNUDSEN, D.; PETERSON, G.A.; PRATT, P.F. Lithium, sodium & potassium.
In: PAGE, A.L., ed. **Methods of soil analysis. part 2.** Madison, SSSA,
1982. p. 225-246.

LAHAYE, P.A. & EPSTEIN, E. Calcium and salt tolerance by beans plants.
Physiology Plantarum, Kobenhavn, **25**:213-218, 1971.

LINDSAY, W.L. & NORWELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc,
iron, manganese e copper. **Soil Science Society of America Journal**,
Madison, **42**:421-428, 1978.

LOVEDAY, J. Relative significance of electrolyte and cation exchange effects
when gypsum in applied to a sodic clay soil. **Australian Journal of Soil
Research**, East Melbourne, **14**:361-371, 1976.

LUCENA, E.R. Efeito da aplicação do fósforo em um solo salino-sódico.
Piracicaba, 1986. 94p. (Dissertação de Mestrado - USP/ESALQ).

LYNCH, J. & LAUCHLI, A. Salt stress disturbs the calcium nutrition of barley
(*Hordeum vulgare* L.). **New Phytologist**, London, **99**:345-354, 1985.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J.; CHABA, G.D.; POSS, J.A.; SHANNON, M.C.
Salt sensitivy of corn at various growth stages. **Irrigation Science**, Berlin,
4:45-47, 1983.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 1989. 201p.**
- MANCHANDA, H.R.; SHARMA, S.K. & BHANDARI, D.K. Response of barley and wheat to phosphorus in the presence of chloride and sulphate salinity. Plant and Soil, The Hague, 66:233-241, 1982.**
- MANN, M.; PISSARRA, A.; VAN HORN, J.W. Drainage and desalinization of heavy clay soil in Portugal. Agricultural Water Management, Amsterdam, 5:227-240, 1982.**
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 1ed. London, Academic Press, 1986. 674p.**
- MARTIN, J.P. & CHAPMAN, H.D. Volatilization of ammonia from surface-fertilized soils. Soil Science, Baltimore, 71:25-34, 1951.**
- McINTYRE, D.S.; LOVEDAY, J.; WATSON, C.L. Field studies of water and salt movement in an irrigated swelling clay soil. III. Salt movement during ponding. Australian Journal of Soil Research, East Melbourne, 20:101-105, 1982.**
- McNEAL, B.L. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 30:308-312, 1966.**

- McNEAL, B.L.; LAYFIELD, D.A.; NORVELL, W.A.; RHODES, J.D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed-salt solutions. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 32:187-190, 1968.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. 4.ed., Berna, International Potash Institute, 1987. 687p.
- METHA, K.K.; YADAV, J.S.P.; SHARMA, D.P. Effect of gypsum on the Reclamation of alkali soils and crops growth in the farmer fields in karnal distriet of Haryana. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SALT AFFECTED SOILS*, Karnal, India, 1980. *International Symposium on Salt affected soils, principles and practices for reclamation and management*. Karnal, Central soil Salinity Research Institute, 1980. p. 525-531.
- MISOPOLINOS, N.D. A new concept for reclaiming sodic soils with high-salt water. *Soil Science*, Baltimore, 140(1):69-74, 1985.
- MOURA, F.J.A.; HOLANDA, L.F.F. de; MAIA, G.A.; GUEDES, Z.B.L.; ORIA, H.F.; GUIMARÃES, A.C.L. Estudo da composição química de quarenta variedades de feijão-de-corda (*Vigna sinensis* Endl.), Fortaleza. *Ciência Agronômica*, 12(1-2):207-212, 1982.
- NASCIMENTO FILHO, V.F. & LOBÃO, A.O. Detecção de P-32 em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM. *Boletim Científico* 48. Piracicaba, CENA, USP, 1977.

- NIAZI, M.H.K.; HUSSAIN, N.; MEHDI, S.M.; RASHID, M.; KHAN, G.D. Efficacy of acid reclaimants in combination with nonconventional fertilizers for salinity control. In: PROCEEDINGS OF SIXTH INTERNATIONAL DRAINAGE SYMPOSIUM, Nashville 1992. p.387-394.
- OLSEN, S.R. ; COLE, C.V. ; WATANABE, F.S. ; DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture, Washington, circular 939, 1954.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, manganese, and zinc by sorghum. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **43**:125-130, 1979.
- OSTER, J.D. & FRENKEL, H. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Science Society of American Journal*. Madison. **44**:41-45, 1980.
- OSTER, J.D. & SCHROER, F.W. Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **43**:444-447, 1979.
- OSTER, J.D.; SHAINBERG, I.; WOOD, J.D. Flocculation value and gel structure of sodium/calcium montmorillonite and illite suspension. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **44**:955-959, 1980.

- PALIWAL, K.V. & GHANDHI, A.P. Effect of salinity, SAR, Ca:Mg ration in irrigation water and soil texture on the predictability of exchangeable sodium percentage. *Soil Science*, Baltimore, **122**(2):85-90, 1976.
- PEARSON, G.A. & BERNSTEIN, L. Influence of exchangeable sodium on yield and chemical composition of plants: II. Wheat, barley, oats, rice, tallfescue and tall wheatgrass. *Soil Science*, Baltimore, **86**(5):254-261, 1958.
- PEREIRA, F.A.M. Metodologias de análises químicas para solos afetados por sais no Nordeste. Areia, 1981. 71p. (Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências Agrárias/UFPB).
- PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R.; CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso do gesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1985. *Anais*. Brasília, EMBRAPA/DDT, 1986. p.85-105.
- PRATTER, R.J.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D.; FRENKEL, H. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **42**:782-786, 1978.
- QUIRK, J.P. Interparticle forces: A basis for the interpretation of soil physical behaviour. *Advances in Agronomy*, New York, **53**:121-183, 1994.
- QUIRK, J.P. & SCHOFIELD, R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Journal of Soil Science*, Oxford, **6**:163-178, 1955.

- RAHMAN, W.A. & ROWELL, D.L. The influence of magnesium in saline and sodic soils: A specific effect or a problem of cation exchange? **Journal of soil Science**, Oxford, **30**:535-546, 1979.
- RAI, R. Chemataxis of salt-tolerant and sentive *Rhizobium* strains to root exudates of lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes and symbiotic N-fixation, proline content and grain yield in saline calcareous soils. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, **108**:25-37, 1987.
- RAI, R. Effect of nitrogen levels and *Rhizobium* strains on symbiotic N₂ fixation and grain yield of *Phaseolus vulgaris* L. genotypes in normal and saline-sodic soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, **14**(4):293-299, 1992.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC-Boletim técnico, 81).
- RAO, D.L.N. & BATRA, L. Ammonia volatilization from applied nitrogen in alkali soils. **Plant and Soil**, The Hague, **70**:219-228, 1983.
- RAVIKOVITCH, S. & YOLES, D. The influence of phosphorus and nitrogen on millet and clover growing in soils affected by salinity. II. Plant composition. **Plant and Soil**, The Hague, **35**:569-588, 1971a.
- RAVIKOVITCH, S. & YOLES, D. The influence of phosphorus and nitrogen on millet and clover growing in soils affected by salinity. I. Plant development. **Plant and Soil**, The Hague, **35**:555-567, 1971b.

RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. **Journal of Soil Science, Oxford**, **34**:723-732, 1983.

RENGASAMY, P. & OLSSON, K.A. Irrigation and sodicity. **Australian Journal of Soil Research, East Melbourne**, **31**:821-837, 1993.

RENGASAMY, P.; GREENE, R.S.B.; FORD, G.W.; MEHANNI, A.H. Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths. **Australian Journal of Soil Research, East Melbourne**, **22**:413-431, 1984.

RHODES, J.D. Soluble salts. In: PAGE, A.L. ed. **Methods of soil analysis. part 2. Madison, SSSA**, 1982. p.167-179.

RHODES, J.D.; KRUEGER, D.B.; REED, M.J. The effect of soil-mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. **Soil Science Society of America Proceedings, Madison**, **32**:643-647, 1968.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alcali soils. Agriculture handbook No. 60., United States Department of Agriculture, Washington**, 1954. 160p.

RIMMER, D.L. & GREENLAND, D.J. Effects of calcium carbonate on the swelling behaviour of a soil clay. **Journal of Soil Science, Oxford**, **27**:127-139, 1976.

- RYDEN, J.C. & SYERS, J.K. Relationalization of ionic strength and cation effects on phosphate sorption by soils. **The Journal of Soil Science**, Oxford, **26**(4):395-406, 1975.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. **Análises químicas de plantas**. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Química, 1974. 57p.
- SATTI, S.M.E. & LOPES, M. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, **25**(15/16):2807-2823, 1994.
- SCHOFIELD, R.K. & TAYLOR, W. The measurement of soil pH. **Soil Science Society of America Proceedings**, Baltimore, **19**:164-167, 1955.
- SHAINBERG, I.; KEREN, R.; FRENKEL, H. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **46**:113-117, 1982.
- SHAINBERG, G.I.; OSTER, J.D.; WOOD, J.D. Sodium/calcium exchange in montmorillonite and illite suspensions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, **44**:960-964, 1980.
- SHAINBERG, I.; SUMMER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A.; FEY, M.V. Use of gypsum on soils: A review. **Advances in Soil Science**, New York, **9**:1-111, 1989.

- SHANMUGAMATHAM, R.T. & OADES, J.M. Influence of anions on dispersible clay on dispersion and physical properties of the A horizon of a red-brown earth. *Geoderma*, Netherlands, **29**:257-277, 1983.
- SHARMA, O.P. & GUPTA, R.K. Comparative performance of gypsum and pyrites in sodic vertisols. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Dehli, **56**(6):423-429, 1986.
- SHARPLEY, A.M.; CURTIN, D.; SYERS, J.K. Changes in water-extractability of soil inorganic phosphate induced by sodium saturation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **52**:637-640, 1988.
- SHAVIN, A. & HAGIN, J. Interaction of salinity and enhanced ammonium and potassium nutrition in wheat. *Plant and Soil*, The Hague, **154**:133-137, 1993.
- SHAW, R.; BREBBER, L.; AHERN, C.; WEINAND, M. A review of sodicity and sodic soil behaviour in Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, East Melbourne, **32**:143-172, 1994.
- SILVA, F.R.; FERREIRA, H.F.F.; COELHO, M.A.; AQUINO, B.F. Efeito da relação de adsorção de sódio e da salinidade sobre o coeficiente de seletividade Na-Ca em solos aluviais de diferentes texturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, **15**:9-13, 1991.
- SINGH, G. Nitrogen management for rice-wheat sequence in alkali soils. *Indian Journal of Agronomy*, New Dehli, **32**(4):387-391, 1987.

- SINGH, K.N. & SHARMA, D.K. Effect of seeding age and nitrogen levels on yield of rice on a sodic soil. *Field Crops Research*, Amsterdam, **31**:309-316, 1993.
- STEPPUHN, H.; COXWORTH, E.; KERNAN, J.A.; GREEN, D.G.; KNIPFEL, J.E. Response of *Kochia scoparia* to nitrogen fertilization on a saline soil. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, **74**:267-275, 1994.
- SUAREZ, D.L.; RHODES, J.D.; LAVADO, R.; GRIEVE, C.M. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, **48**:50-55, 1984.
- SWARUP, A. Effect of exchangeable sodium percentage and presubmergence on yield and nutrition of rice under field conditions. *Plant and Soil*, The Hague, **85**:279-88, 1985.
- SWARUP, A. Iron, zinc and manganese nutrition of wetland rice (*Oryza sativa* L.) on a gypsum amended sodic soil. *Plant and Soil*, The Hague, **155/156**:477-480, 1993.
- TAKKAR, P.N. & SINGH, T. Zinc nutrition of rice as influenced by rates of gypsum and Zn fertilization of alkali soils. *Agronomy Journal*, Madison, **70**:447-450, 1978.
- TERMAN, G.L. & HUNT, C.M. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers as measured by crop response. *Soil Science Society of America Proceedings*, Baltimore, **28**:667-672, 1964.

- TESTER, C.F. & PARR, J.F. Decomposition of sewage sludge compost in soil. IV Effect of indigenous salinity. *Journal Environmenta Quality*, Madison, 12(1):123-127, 1983.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. *Soil fertility an fertilizers*, 4 ed. New York, McMillan, 1984. 754p.
- TIWARI, R.J.; DWIVEDI, K.; VERMA, S.K. Effect of gypsum on leaf-water potential of cottons (*Gossypium hirsutum*, *G. herbaceum* and *G.arboreum*) varieties grown in salt-affected vertisol of *Madhya pradesh*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Dehli, 63(11):734-736, 1993.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. *Preparo de amostras para analise de ^{15}N por espectrometria de massa*. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim técnico, 2).
- UNGER, P.W. Effects of deep tillage and profile modification on soil properties, root growth, and crop yields in the united states and Canada. *Geoderma*, Netherlands, 22:275-295, 1979.
- VITTI, G.C. *Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta*. Jaboticabal, UNESP/FUNEP, 1989. 37p.
- VOSE, P.B. Iron nutrition in plants: A word overview. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 5:233-249, 1982.

- WERLHOVEN, C.H.E.; FIREMAN, M.; MILLER, M.D. Growth, chemical composition, and yield of safflower as affected by exchangeable sodium. *Agronomy Journal*, Madison, **58**:539-543, 1966.
- WILLIAMSON, J.G. & COSTON, D.C. The relationship among root growth, shoot, growth and fruit growth of peach. *Journal of the America Society for Horticultural Science*, Geneva, **114**(2):180-183, 1989.
- WILSON, J.R. Response to salinity in *Glycine*. VI. Some effects of a range of short-term salt stresses on the growth, nodulation, and nitrogen fixation of *Glycine wightii* (Formerly *javanica*). *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, **21**:571-582, 1970.
- YAHIA, T.A.; MIYAMOTO, S.; STROEHLEIN, J.L. Effect of surface applied sulfuric acid on water penetration into dry calcareous and sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **39**:1201-1204, 1975.
- YANG, X.; ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Effect of bicarbonate and root zone temperature on uptake of Zn, Fe, Mn and Cu by different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) grown in calcareous soil. *Plant and Soil*, The Hague, **155/156**:441-444, 1993.
- ZAHOW, M.F. & AMRHEIN, C. Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **56**:1257-1260, 1992.

ZAITER, H.Z. & SAADE, M. Interactive effects of salinity and phosphorus nutrition on tepary and common bean cultivars. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, **24**(142):109-123, 1993.