

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ANA PAULA BEZERRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA RECUPERAÇÃO DE UM SOLO SÓDICO
NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE-CE**

FORTALEZA

2009

ANA PAULA BEZERRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA RECUPERAÇÃO DE UM SOLO SÓDICO
NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE-CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA

2009

A687a Araújo, Ana Paula Bezerra

Análise técnico-econômica da recuperação de um solo
sódico no perímetro irrigado Curu-Pentecoste- CE / Ana Paula Bezerra
Araújo, 2009.

61f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

Co-Orientador : Dr. Claudivan Feitosa Lacerda

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará,
Centro de Ciências Agrárias. Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza,
2009.

ANA PAULA BEZERRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA RECUPERAÇÃO DE UM SOLO SÓDICO
NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU-PENTECOSTE-CE**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em: ____ de _____ de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Ph.D. Hans Raj Gheyi (Conselheiro)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Prof. Dr. Luís Carlos Uchoa Saunders (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai todo poderoso, criador do Céu e da Terra, exemplo de amor, de fé e de sabedoria. A esse ser tão maravilhoso agradeço por me conceder mais essa graça na minha vida;

A toda minha família em especial aos meus pais, Deocrício e Adalzira, a meu filho Carlos Vinícius e ao meu esposo Eduardo Pereira, pelas horas de paciência e aos irmãos Maria Emilia e André;

À Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela formação;

Ao Professor Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, meu orientador e amigo, pelos ensinamentos passados durante todo esse trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de auxílio;

Ao CT- Hidro (Projeto Casadinho) pelo auxílio financeiro durante toda a pesquisa;

Ao Professor Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pela a sua atenção e dedicação que de forma tão prestativa me ajudava;

Ao Professor Dr. Hans Raj Gheyi, pela contribuição desde o início da pesquisa e sua participação na banca;

Ao Professor Dr. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, por ajudar nas análises de laboratório;

Ao Professor PhD. Boanerges Aquino Freire, meu amigo que sempre me ajudou com as minhas pesquisas desde a graduação;

Aos amigos Dr. Almiro, Dr. Camboim, Dr^a Albanise, pela valiosa ajuda;

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola: Dr^a. Eunice Maia, Dr. Marcus Bezerra e Dr. José Carlos, a vocês, toda a minha admiração;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Aninha, Maurico, Toinha, Graça, Ivan, Jacó, Fátima e Willa pela ajuda;

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solos-UFC: Dr. Francisco Valderez, Antônio José, Maria Vilalba e Franzé que desde a graduação foram sempre tão prestativos;

Aos funcionários e amigos que tenho na Fazenda Experimental Vale do Curu: Valmir, Socorro, Tonha, Elisa, Roberto, Chico Amaro, José Hamilton que me ajudaram desde o início da pesquisa com muita alegria;

Aos agricultores irrigantes do Perimetro do Núcleo "D" : Antônio Goes, Antônio Merim, André, Pedro Mambira;

Aos amigos: Eveline, Nilvia Nara, Giovana, Juliana, Leila, Andréia, Olinaide, Adriana, Jorgiana, Denise, Elisângela, Carmem, Beatriz, Danielle, Bruna, Kelly, Carlos Alexandre, Clescy, Cley Anderson, Geocleber, Davi, Haroldo, Olavo, Aglodoaldo, Firmino, Hernandez, Antônio Henrique, Mário, Yuri, Eliomar, Tadeu, Joseilson, Diego, Tony Tiago, Flávio, Flávio Batista, Clênio, Fabrício, Fabrício, Jefferson, Mário, Cleiton, Clemilson, Edivan, Lúcio.

“Se eu vi mais longe, foi porque
estava de pé sobre ombros de
gigantes.”

Isaac Newton

Aos meus Pais, **Deocrício Vieira de Araújo** e **Adelzira Bezerra de Araújo**, por ter confiado em mim, por nunca deixarem de acreditar que o saber é melhor tesouro entregue a um filho. Ao meu filho **Carlos Vinícius** que tanto amo. Ao meu esposo **Eduardo da Silva Pereira**, companheiro, amigo, das horas alegres e difíceis. Aos Irmãos **Maria Emília e André Felipe**.

OFEREÇO

RESUMO

Araújo, Ana Paula Bezerra de. Universidade Federal do Ceará, Agosto de 2009. **Análise técnico-econômica da recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste – CE.** Orientador: Raimundo Nonato Távora Costa. Examinadores: Claudivan Feitosa de Lacerda, Hans Raj Gheyi.

No Nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas são observadas nas terras intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos Perímetros Irrigados, sobretudo aqueles com o método por superfície. O experimento foi realizado no Núcleo D do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - CE. A pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da subsolagem do solo associada com tratamentos químicos e biológicos, na melhoria das condições de transmissão de água no perfil do solo, de atributos físicos e químicos do solo, na produtividade do feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] cultivar Epace 11 além dos indicadores de rentabilidade da recuperação de um solo sódico irrigado por sulcos. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos inteiramente casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram T₀: testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ (gesso) + 40 t.ha⁻¹ (M.O); T₄: 10 t.ha⁻¹ (gesso) + 20 t.ha⁻¹ (M.O). Os resultados permitiram as seguintes conclusões: 1. A produtividade do feijoeiro com o uso de melhoradores químicos foi superior em 120% à produtividade sem o uso destes melhoradores e inferior em 18% à produtividade da cultura em solos sem problemas de salinidade do Perímetro. 2. As maiores produtividades do feijoeiro estão associadas a maiores profundidades do lençol freático. O incremento de produtividade do feijoeiro com a profundidade do lençol freático ocorreu a uma taxa crescente. 3. A aplicação de 20 t.ha⁻¹ de gesso e 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica proporcionou já no primeiro ano, a redução da percentagem de sódio trocável do solo, inicialmente de um valor médio superior a 50% para um valor convergente de 2%. 4. Limitação quanto à cota de saída dos drenos laterais orientam para a instalação do sistema de drenagem subterrânea do tipo intercepção, embora os gradientes hidráulicos médios do movimento de água subterrânea sejam bem inferiores a 1%. 5. A taxa relacionada entre o valor bruto da produção gerado exclusivamente pela cultura do feijoeiro e o custo da recuperação do solo, demonstra que a renda gerada pela cultura contribui em 12% com o custo da recuperação do solo sódico. 6. O processo de recuperação demonstra uma boa viabilidade a uma taxa de 12% ao ano e alta viabilidade a uma taxa de juros de 6% ao ano, revelando que a essa taxa todo o investimento realizado será recuperado e remunerado e ainda um lucro extra igual a R\$ 5.328,85.

Palavras-Chave: Drenagem. Feijão-de-corda. Percentagem de sódio trocável.

ABSTRACT

Araújo, Ana Paula Bezerra de, Universidade Federal do Ceará, Agosto de 2009. **Techno-economical analysis of the reclamation of a sodic soil in the Irrigated Perimeter Curu-Pentecoste-CE.** Adviser: Raimundo Nonato Távora Costa. Committee members: Claudivan Feitosa de Lacerda, Hans Raj Gheyi.

In the semi-arid part of Northeastern Brazil, the highest incidences of salinized areas are observed in land subjected to intense irrigated cultivation, in the “Perímetros Irrigados” (irrigated perimeters), particularly those where is used the surface method. The experiment was performed in the “Núcleo D” (D Core) of the “Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste - Ce”. The research aimed at evaluating the effect of the subsoiling of the treated area combined with the application of chemical and biological treatments in the same area. Specifically, it aimed at evaluating the effect of the said combination (a) in the improvement of the hydraulic properties in the profile of the soil, (b) in the improvement of the productivity of the cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] of the Epace 11 cultivar and (c) in the indicators of profitability of the recovery of a sodic soil irrigated by furrows. We used a randomized complete block experimental design with five treatments and five replications. The treatments were T0: control, T1: 40 t ha⁻¹ of organic matter, T2: 20 t ha⁻¹ gypsum T3: 20 t ha⁻¹ (gypsum) + 40 t ha⁻¹ (MO) T4: 10 t ha⁻¹ (gypsum) + 20 t ha⁻¹ (MO). The results allowed the following conclusions: 1) The grain yield with the use of chemical enhancers was 120% higher than the productivity without those enhancers and 18% lower than the productivity (of the same cultivation) in soils without salinity problems. 2) The highest bean yields are associated with the largest values of water table depth, the increase in grain yield with the depth of the water table occurring at a rate increasing with the same depth. 3) The application of 20 t ha⁻¹ gypsum and 40 t ha⁻¹ Organic matter, no later than in the first year, reduced the percentage of exchangeable sodium in the soil, from an initial average above 50% to a convergent value of 2%. 4) The limitation on the elevation of the outflow of lateral drains indicate the necessity of the installation of an underground drainage system of the interception type, even if the average hydraulic gradient of the of groundwater flow is well below 1%. 5) The rate between the gross value of production generated by the cowpea crop and the cost of remediation of soil, shows that the the crop contributes with 12% of the cost of soil sodium remediation . 6) The recovery process shows a good feasibility at a rate of 12% per year and high viability at a rate of interest of 6% per year, revealing that at that rate all the investment will be recovered and paid, plus yielding an extra profit of R\$ 5,328.85.

Keywords: Drainage. Cowpea. Percentage of de exchangeable sodium.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Vista da área do experimento	27
FIGURA 2	Coleta de amostras de solo para teste de Ko	29
FIGURA 3	Subsolagem da área do experimento	30
FIGURA 4	Croqui do experimento com a distribuição dos tratamentos	31
FIGURA 5	Distribuição de matéria orgânica e de gesso agrícola	31
FIGURA 6	Poço de observação no centro de uma parcela	33
FIGURA 7	Coletor antes da limpeza (fonte de recarga).....	37
FIGURA 8	Coletor após a limpeza (fonte de descarga)	38
FIGURA 9	Coletor como fonte de recarga à área	38
FIGURA 10	Perfis longitudinais do lençol freático a 12, 33, 54, 75 e 96m do canal secundário.....	39
FIGURA 11	Produtividade do feijão-de-corda em função da profundidade do lençol freáticos.....	41
FIGURA 12	Variação da percentagem de sódio trocável antes e após tratamento (PST)	45
FIGURA 13	Isolinhas do lençol freático para o dia 23/10/08.....	47
FIGURA 14	Valor bruto da produção em função do custo de recuperação	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Atributos físicos e químicos do solo da área do experimento.....	28
TABELA 2	Produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função dos tratamentos.....	36
TABELA 3	Análise de variância da variável produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	36
TABELA 4	Teste de Tukey para comparação de médias de produtividade do feijão-de-corda sobre os diferentes tratamentos	36
TABELA 5	Produtividade do feijão-de-corda em função de níveis freáticos.....	41
TABELA 6	Valores de PST durante a condução do experimento e ao final.....	44
TABELA 7	Resultados da análise de água dos poços de observação	46
TABELA 8	Custo de recuperação do solo ($\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função dos tratamentos.....	48
TABELA 9	Receita bruta ($\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1}$) do feijão-de-corda em função dos Tratamentos.....	49
TABELA 10	Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Fatores de salinização dos solos	16
2.2	Solos afetados por sais e sódio trocável	17
2.2.1	Efeito dos sais sobre o solo.....	17
2.2.2	Efeito dos sais nas plantas	19
2.3	Recuperação de solos afetados por sais	21
2.4	Uso de gesso e da matéria orgânica como corretivo	23
2.5	Transmissão de água no solo	24
2.6	Indicadores de rentabilidade da análise de investimento	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Caracterização da área do experimental	27
3.2	Preparo de solo da área do experimento	29
3.3	Delineamento experimental	30
3.4	Poços de observação do lençol freático	32
3.5	Condução da cultura no campo	33
3.6	Análise estatística	33
3.7	Indicadores de rentabilidade do processo de recuperação	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Produtividade do feijão-de-corda associada aos tratamentos	35
4.2	Produtividade do feijão-de-corda associada aos níveis médios de profundidade do lençol freático	37
4.3	Efeito da aplicação dos tratamentos na percentagem de sódio trocável	42
4.4	Orientações básicas para a instalação do sistema de drenagem subterrânea	46
4.5	Análise econômica do processo de recuperação do solo sódico	48
4.6	Análise dos indicadores de rentabilidade	50
5	CONCLUSÕES	53
6	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A expansão de áreas afetadas por sais vem aumentando ano após ano. Em escala mundial, um quarto de toda a área irrigada encontra-se seriamente comprometida por sais. No Brasil são aproximadamente nove milhões de hectares em sete Estados do Nordeste. O Estado da Bahia apresenta a maior área no Nordeste de solos degradados por sais com cerca de 44% das terras salinizadas, seguido do Ceará, com 25,5% (CARNEIRO et al., 2002).

Grandes áreas irrigadas em todo mundo vem apresentando uma diminuição de suas produções em decorrência do excesso de sais (KEIFFER; UNGAR, 2002; HORNEY et al., 2005; LEAL et al., 2008). No Brasil, em especial no Nordeste, aproximadamente 25% das áreas irrigadas já foram salinizadas (GHEYI, 2000).

É muito comum nas regiões áridas e semi-áridas o surgimento de solos com problemas de sais em razão da alta taxa de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica. De acordo com Leite et al. (2007), nos perímetros irrigados do Nordeste é freqüente o surgimento de solos afetados por sais devido o manejo inadequado do solo e da água, a drenagem deficiente em decorrência da baixa condutividade hidráulica dos solos, as condições topográficas desfavoráveis e a constante exploração agrícola das terras. Assim, muitos perímetros irrigados estão propensos à inundação e a elevação do lençol freático.

A lixiviação dos sais solúveis se torna bastante limitada em razão da baixa condutividade hidráulica desses solos. Um fato muito comum acontecer nos perímetros irrigados como resultante desses processos, é o abandono da terra, que antes era produtiva. Esta prática de abandono da terra só é possível devido à grande extensão territorial do nosso país (LEITE et al., 2007).

Além disso, a falta de manutenção nos drenos coletores, o manejo ineficiente da irrigação, a não existência de subsídios financeiros para o processo de recuperação desses solos são outros fatores que complicam, ainda mais, a difícil tarefa dos agricultores familiares com poucos recursos financeiros.

As áreas salinizadas são retiradas do processo produtivo, acarretando também em abandono do agricultor e da sua atividade agrícola juntamente com a sua família. Por isso, nesse tipo de solo, práticas de manejo devem ser adotadas para o

controle da salinidade. Essas práticas são fundamentais para que se possa trabalhar esse solo de uma maneira sustentável em longo prazo, inserindo o mesmo no processo produtivo.

Para Cavalcante (2000), mais importante do que recuperar é prevenir que os solos irrigados se transformem em áreas degradadas e sem função social. Por isso, é que, às vezes, os benefícios sociais justificam os elevados custos de correção de áreas degradadas por sais ou por sódio trocável.

A recuperação de solos com problemas de salinidade e/ou sodicidade pode ser realizada por técnicas de natureza física ou mecânica, química e biológica. As mecânicas utilizam as práticas de subsolagem, aração e gradagem. As químicas usam corretivos tais como o gesso, o cloreto de cálcio, o enxofre e o ácido sulfúrico. As biológicas utilizam plantas que após a incorporação de sua massa verde, auxiliam nas propriedades físicas do solo (BATISTA et al., 2002).

O cultivo de espécies da região que são tolerantes á salinidade permite que o agricultor irrigante disponha de uma alternativa que possa contribuir com a sua renda.

A pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da subsolagem do solo associada com tratamentos químicos, na melhoria das condições de transmissão de água no perfil do solo, de atributos físicos e químicos do solo, na produtividade do feijão-de-corda, além dos indicadores de rentabilidade da recuperação do solo sódico irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fatores de salinização dos solos

O manejo inadequado da água e do solo na agricultura irrigada vem aumentando ao longo do tempo as áreas com solos que apresentam restrições para o cultivo agrícola no mundo inteiro e em especial na região do Nordeste brasileiro. A problemática do processo de salinização e de sodificação dos solos está na maioria dos casos associada à mineralogia dos solos e ao manejo não eficiente da irrigação (OLIVEIRA et al., 1998; VITAL et al., 2005; LEITE et al., 2007).

A salinização do solo, que pode ser de origem natural ou causada pela ação antrópica, constitui um processo de degradação do solo que, de acordo com Oliveira (1997), em alguns casos é responsável por perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas.

Os solos da região semi-árida em razão da alta taxa de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica apresentam, em geral, elevadas concentrações de sais solúveis (GHEYI, 2000).

A qualidade da água para a irrigação representa um dos principais fatores que provoca a salinização dos solos, uma vez que a mesma aumenta o teor de sais na solução do solo (MACÊDO; MENINO, 1998).

A irrigação pode contribuir para a salinização dos solos. Isso ocorre pelo fato de a água de irrigação apresentar sais dissolvidos que, mesmo em baixa concentração, podem ser incorporadas ao solo, o qual pode se tornar salino em poucos anos (MEDEIROS, 2001).

Ao se irrigar um solo de drenabilidade deficiente a nula, situado em região de baixas precipitações médias anuais e alto déficit hídrico, este se torna salino em período de tempo bastante curto, porque as plantas removem basicamente H₂O do solo, enquanto que a maior parte dos sais fica retida. Nestas condições o solo tende a se tornar salino caso não seja drenado artificialmente o que vem ocorrendo nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro (BATISTA, 2002).

Os solos localizados em áreas baixas, depressões ou regiões áridas com lençol freático alto podem estar sujeitos a acumulações de sais. A água oriunda de lençol freático, a poucos metros da superfície, pode mover-se por capilaridade na superfície do solo, onde evapora, deixando os sais (MARCHI; OLIVEIRA, 2002).

Assim como outras propriedades químicas e físicas, a salinidade do solo e da água é um atributo bastante variável no espaço e no tempo. Os fatores mais diretamente responsáveis por esta salinidade são: a natureza química dos solos, as interações com outros fatores, aumentando na perda de permeabilidade, elevação do nível do lençol freático e as variáveis climáticas, como pluviosidade, irregularidade de distribuição das chuvas, além das perdas hídricas por evaporação e evapotranspiração (GURGEL, 2003).

2.2 Solos afetados por sais e sódio trocável

2.2.1 Efeito dos sais sobre o solo

Segundo Qadir et al. (2005) solos que possuem problemas por sais e por excesso de sódio trocável apresentam condições inadequadas para a prática da agricultura devido aos efeitos vistos nas propriedades do solo, como exemplo, a estabilidade de agregados e infiltração da água.

Os solos dessas regiões podem apresentar acúmulo de sais e sódio trocável em níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, devido a processos naturais e antrópicos de salinização e sodificação, em consequência do manejo inadequado da irrigação (FREIRE et al., 2003).

No Nordeste semi-árido, as maiores incidências de áreas salinizadas com salinização secundária, se concentram nas terras intensamente cultivadas sob a irrigação, nos chamados perímetros irrigados, sobretudo aqueles irrigados por sistemas de irrigação por superfície em razão dos níveis elevados do lençol freático (OLIVEIRA, 1997).

A salinização do solo tem como resultado a redução do rendimento dos cultivos, sendo necessária uma lavagem de recuperação e adição de condicionadores

químicos, como o gesso agrícola, o que leva a custos adicionais. Os sais também causam redução na velocidade de infiltração da água no solo. Esta redução pode alcançar tal magnitude que as raízes das plantas podem não receber água em quantidade suficiente entre os turnos de rega.

De acordo com Leite et al. (2007), nos perímetros irrigados é freqüente o surgimento de solos afetados por sais devido ao manejo ineficiente do solo e da água, a drenagem deficiente em decorrência da baixa condutividade hidráulica dos solos, as condições topográficas desfavoráveis e a constante exploração agrícola das terras. Assim, muitos perímetros irrigados estão propensos à inundação e a elevação do lençol freático.

Os solos sódicos não salinos apresentam condutividade do extrato de saturação menor que $4,0 \text{ dS.m}^{-1}$ a 25°C e contêm sódio trocável mais que 15% e pH variando entre 8,5 e 10,0. Os ânions contidos na solução do solo são predominantemente os carbonatos e bicarbonatos. O pH muito elevado e a presença de carbonato favorecem a precipitação do cálcio e do magnésio, diminuindo os teores destes elementos. Nos solos altamente sódicos, com o processo de evaporação, a matéria orgânica quando dispersa e dissolvida se deposita na superfície do solo e o torna escuro. Devido à grande dispersão das argilas saturadas com o sódio, estas se precipitam, formando uma estrutura impermeável que dificulta o transporte de água no perfil do solo (GONÇALVES, 1982).

Segundo Richards (1954) os solos são considerados salinos, quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), é $> 4 \text{ dS m}^{-1}$ e a percentagem de sódio trocável (PST) é $< 15\%$, com $\text{pH} < 8,5$.

Quando a salinidade não é muito elevada e o sódio é o íon predominante, verifica-se toxidez nas plantas, dispersão de argilas e desestruturação dos solos, tornando-os impermeáveis (LEBRON et al., 2002; MCBRIDE ; BAVEYE, 2002).

Segundo Freire (2003), os sais em excesso prejudicam o crescimento das plantas devido aos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações na solução do solo. O sódio trocável por sua vez promove a degradação de alguns atributos físicos do solo, diminuindo a infiltração da água no solo e, conseqüentemente, dificultando o crescimento dos vegetais.

A salinidade e a sodicidade do solo diminui o potencial produtivo de grandes áreas do globo. Devido a esses processos provocam a dispersão da argila,

causando diminuição da penetração de água, ar e raízes e da capacidade de retenção de água disponível, dificultando uma agricultura adequada e eficiente (LEVY et al., 1998; SHAW et al., 1998).

A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito de osmose e, portanto, a magnitude de escassez de água na planta (AYERS; WESTCOST, 1999).

Neto et al. (2007), avaliando as características químicas dos solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe, observou que o excesso de sais pode está relacionado com o assoreamento dos drenos nos talwegues naturais, os quais têm a função de promover o escoamento do excesso de água da irrigação e das chuvas.

2.2.2 Efeitos dos sais nas plantas

As plantas altamente tolerantes à salinidade são designadas como plantas halófitas e sua tolerância pode chegar até cerca de 15 g.L^{-1} de NaCl, equivalente à metade da concentração da água do mar. Essas plantas absorvem por exemplo, o cloreto de sódio em altas taxas e o acumulam em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo (LIMA,1997).

Segundo Levitt (1980), de acordo com a salinidade, as plantas se classificam em halófitas e glicófitas. A variação no comportamento é muito ampla: desde as glicófitas, mais sensíveis, que não crescem normalmente nem em conteúdos muitos baixos de cloreto de sódio até as halófitas, mais resistentes, como *Rhizophora mangle*, *Suaeda marítima* e *Salicornia europea*, que sobrevivem em salinidades próximas à água do mar.

Os excessos de sais no solo, na água de irrigação ou na solução nutritiva, comprometem a germinação, o crescimento vegetativo, bem como o sistema produtivo das plantas, devido a ação do potencial osmótico e de íons potencialmente tóxicos na solução do solo (CAVALCANTE, 2000; FREIRE et al., 2003a).

De acordo com Bernardo et al. (2005), os efeitos da salinidade podem ser observados nas taxas de germinação e de crescimento, na redução do rendimento, e, em certos casos podem causar a morte generalizada das plantas.

Altas concentrações de sais no solo afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando também em desequilíbrio nutricional e acúmulo excessivo de Na^+ e outros íons nos diferentes órgãos das plantas, sobretudo na parte aérea (TEIXEIRA et al., 1998).

Macedo et al. (2007) afirmam que os sais solúveis produzem os seguintes efeitos adversos às plantas: i) aumentam a pressão osmótica da solução do solo com conseqüente redução da água disponível, ii) causam um desbalanceamento nutricional, iii) o excesso de sódio pode deteriorar a estrutura do solo resultando numa menor penetração das raízes e restringindo o movimento de água e ar, e iv) causam direta toxidez quando certos sais constituintes, tais como, cloretos, sódio e boro estão individualmente em excesso.

O excesso de sais solúveis leva à redução do potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pela planta, causando desbalanço nutricional e afetando o desenvolvimento das culturas (CARVALHO; STAMFORD, 1999; DUTRA et al., 2000; VIANA et al., 2001; AMORIM et al., 2002).

Os íons que mais freqüentemente causam toxidade às plantas são o cloreto, que causa necrose nas folhas e o sódio, que causa queimaduras ou necrose ao longo das bordas das folhas (AYERS; WESTCOT, 1999). Quando no caso específico de acúmulo de sódio e de cloreto a planta apresenta necrose dos tecidos foliares que se desenvolve inicialmente nas bordas e ápices reduzindo a área destinada à fotossíntese (LACERDA, 2000; SILVA, 2003).

Segundo Shannon (1997), a salinidade diminui o crescimento e o desenvolvimento das plantas pelo efeito osmótico, causando déficit hídrico. O estresse salino é um dos fatores mais sérios que limitam o crescimento bem como a produtividade das culturas, acarretando modificações morfológicas, metabólicas e estruturais em plantas superiores (IZZU, 1991).

De acordo com Mohammad et al. (2003 apud SILVA et al., 2005), a redução do crescimento das plantas em solos acometidos por sais é um dos principais sintomas vistos nas plantas, devido ao efeito negativo do potencial osmótico da solução do solo que reduz a absorção de nutrientes e água que são essenciais ao desenvolvimento da planta.

A salinidade reflete diversos efeitos negativos nas plantas, tais como na altura, na área foliar e no acúmulo de matéria fresca e matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes, os quais, em conjunto podem inclusive levar à morte das

mesmas. Esses efeitos são reflexos, dentre outros fatores, de reduções na fotossíntese, respiração, transpiração e translocação, além de um desbalanço hídrico e/ou iônico no interior da planta (LARCHER, 2000; ZHU, 2003).

Segundo Dias (2004), o comportamento das plantas com relação à salinidade pode variar de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, embora não seja claro se isto é devido à susceptibilidade à salinidade em um determinado estágio de crescimento.

2.3 Recuperação de solos afetados por sais

Melo (2008) relata que a salinização e/ou sodificação do solo é responsável pela redução na produção agrícola, culminando quase sempre com o abandono de áreas agricultáveis acarretando grandes prejuízos à economia regional. Conforme o autor, a recuperação desses solos é imprescindível para que os mesmos sejam reincorporados ao sistema produtivo.

Para Cavalcante (2000), mais importante do que recuperar é prevenir que os solos irrigados se transformem em áreas degradadas e sem função social. Por isso, é que, às vezes, os benefícios sociais justificam os elevados custos de correção de áreas degradadas por sais ou por sódio trocável.

Os solos salinos e sódicos se caracterizam por apresentarem uma concentração elevada de sais solúveis ou de sódio trocável ou ambos e, portanto para a exploração agrícola necessitam de medidas corretivas.

A adoção de práticas apropriadas de manejo da irrigação é de fundamental importância para que se possa evitar a acumulação de sais e de sódio trocável ou mesmo a recuperação de solos salinos. Diante do problema deve-se levar em consideração o solo, a água e a cultura, em um programa integrado, visando sua sustentabilidade, uso e manejo desses solos (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2004).

Silva (2004) relata em seus estudos que a recuperação dos solos sódicos e salino-sódicos tem como finalidade transformá-los em solos salinos e em seguida, em

solos normais, isto é, que os níveis de sais não prejudiquem a germinação, o crescimento e a produção das plantas.

Para a recuperação de solos salinos é utilizada lavagem para a remoção dos sais. A quantidade de água necessária à recuperação de um solo salino vai depender das propriedades do solo bem como também do método e velocidade de aplicação da água e do sistema de drenagem.

Em se tratando de solos sódicos a sua recuperação é muito mais complexa e trabalhosa do que os solos salinos. O princípio utilizado nos solos sódicos é a substituição do sódio pelo cálcio melhorando assim as propriedades físicas, melhorando as condições de transmissão de água e facilitando a lixiviação dos sais contidos na solução do solo (CRUCIANI, 1987).

Segundo Santos (2002), os solos salino-sódicos e sódicos, por serem bastante ricos em sódio trocável, não devem ser tratados apenas com lavagem, pois esses solos necessitam de aplicação de um tipo de corretivo à base de cálcio com o intuito de substituir o sódio do complexo de troca e transferi-lo para a solução do solo. Em muitos casos, os solos denominados de sódicos vêm associados também com uma má drenagem que dificulta ainda mais o processo de recuperação.

A recuperação de solos com problemas de salinidade e/ou sodicidade pode ser realizada por técnicas de natureza física ou mecânica, química e biológica. As mecânicas utilizam as práticas de subsolagem, aração e gradagem. As químicas usam corretivos como o gesso, o cloreto de cálcio, o enxofre e o ácido sulfúrico. E as biológicas, utilizam plantas que auxiliam nas propriedades físicas do solo (BATISTA et al., 2002).

2.4 Uso de gesso e matéria orgânica como corretivo

Batista et al. (2002) definem o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) como um composto neutro com solubilidade da ordem de 2 g L^{-1} a 25°C . É o corretivo químico para recuperação de solos degradados por sódio mais utilizado em todo mundo pela disponibilidade no mercado, fácil aquisição e preço mais acessível.

De acordo com o U.S Salinity Laboratory (1954), são necessários aproximadamente $12,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de gesso por metro de profundidade de solo para substituir $1,0 \text{ mEq}$ de sódio trocável por 100 g de solo.

Conforme Raij (2008), o gesso é o principal insumo para a correção de solos sódicos, atuando na remoção do sódio trocável que degrada a estrutura do solo, pelo cálcio, que promove a melhoria da estrutura. O gesso possui efeito floculante no solo, reduzindo a dispersão da argila. Este efeito é bem conhecido em solos sódicos, mas também pode ser observado em solos ácidos. Há registro de efeitos favoráveis do gesso no impedimento do encrostamento superficial ou na redução do adensamento de camadas do subsolo. O gesso pode, também, influir de forma favorável na condutividade hidráulica dos solos, melhorando assim a transmissão de água nos solos.

De acordo com Barros (2005), as quantidades do corretivo necessárias à recuperação de solos salinam-sódicos ou sódicos, podem ser determinadas por método de laboratório ou calculadas em função da percentagem de sódio trocável (PST) e da capacidade de troca de cátions (CTC).

Para que o gesso seja eficiente, o mesmo depende de vários fatores como a dissolução no solo, a granulometria das partículas do gesso, a textura do solo e o método de irrigação (RICHARDS, 1954; BARROS et al., 2004).

Conforme Qadir et al.(1998), apesar da grande divulgação do uso do gesso junto com lâmina de irrigação como técnica de recuperação de solos sódicos e salino-sódicos, esta pode ser ineficiente se a lixiviação dos sais solúveis e do sódio trocável forem restringidos por uma baixa condutividade hidráulica no perfil do solo graças aos altos teores de argila e silte e à matriz do solo dispersa.

Gomes (2000), em seu trabalho observou que o uso de condicionadores orgânicos (esterco de curral, casca de arroz e vinhaça) reduziu as taxas de PST do solo.

Leite (1990), trabalhando em um solo com problemas de sódio, diagnosticou diminuição da PST do solo para todos os tratamentos quando usou uma combinação de condicionadores químicos (gesso e matéria-orgânica). O tratamento que recebeu 100% da necessidade de gesso (NG) apresentou maior eficiência.

2.5 Transmissão de água no solo

A condutividade hidráulica do solo ou constante de proporcionalidade (K) é um dos atributos físicos do solo mais importantes para pesquisas e projetos na determinação do movimento de água no solo e no dimensionamento de sistemas de drenagem.

Existem vários métodos para determinação de K_0 no laboratório ou campo, porém, por mais refinados e aperfeiçoados que sejam os métodos de laboratório, diretos ou indiretos, eles apresentam a desvantagem de usarem amostra de pequeno tamanho, representando assim pequeno volume de solo. Apesar da dificuldade, os métodos de campo são muito mais precisos uma vez que o volume de solo amostrado é maior sem alterar a sua estrutura natural (CRUCIANI, 1987).

Os métodos mais comuns para a sua determinação são: o método do permeâmetro de carga constante (método de laboratório) e o método do poço na presença do lençol freático (método de campo). O método do poço é um método simples, rápido e preciso, que estima a condutividade hidráulica do solo saturado, da faixa de solo entre o lençol freático e o fundo do poço.

Os Neossolos de textura argilosa são, na sua maioria, bastante limitados fisicamente, favorecendo a retenção de água e comprometendo a condutividade hidráulica (K) sob condições de solo saturado (SAUNDERS et al., 1980; SILVA, 1988; LIMA et al., 1990).

2.6 Indicadores de rentabilidade da análise de investimento

Para uma análise econômica é necessário fazer estimativas de todas as entradas e saídas, ou seja; todos os custos envolvidos no investimento inicial, operação e manutenção, como também as receitas geradas durante um determinado período de tempo. Desse modo obtém-se o fluxo de caixa financeiro relativo à atividade, permitindo o cálculo dos indicadores econômicos obtidos com o empreendimento. Alguns dos principais indicadores são a relação benefício/custo (B/C) a TIR- Taxa interna de retorno; o TRC- Tempo de retorno de capital; e VPL- Valor presente líquido (SARTORI, 2007).

De acordo com Hirschfeld (2000), a taxa interna de retorno de um investimento é a taxa de juros que zere o valor presente do fluxo de caixa.

A relação benefício/custo (B/C) consiste em calcular a razão entre o valor atual das receitas e o valor atual dos custos. Assim, o projeto é economicamente viável se apresentar a razão $B/C > 1$. Quanto maior for essa relação mais indicado economicamente será esse projeto.

Conforme Hoffman et al. (1992), a relação benefício/custo (B/C) é definida como o quociente entre o valor presente das receitas (benefícios) a serem obtidos e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos).

O critério de decisão é que o investimento será considerado viável se a relação benefício/custo $(B/C) > 1$. Assim, quanto maior a relação benefício-custo, mais viável tende a ser o investimento, e, conseqüentemente, mais estável este investimento se apresenta às oscilações da taxa de juros de mercado.

Matematicamente, o referido indicador tem a fórmula:

$$B / C = \frac{\sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i}{(1+r)^i} \right)}{\sum_{i=0}^n \left(\frac{C_i}{(1+r)^i} \right)}$$

onde:

B/C: relação benefício custo;

R_i : benefícios (entradas) ou receitas no ano i ;

C_i : custos(saídas) no ano i ;

r : taxa de desconto

O valor presente líquido (VPL) é o valor presente dos benefícios líquidos (benefícios – custos) do projeto, ou seja:

$$VPL = \sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i - C_i}{(1+r)^i} \right) = \sum_{i=0}^n \left(\frac{R_i}{(1+r)^i} \right) - \sum_{i=0}^n \left(\frac{C_i}{(1+r)^i} \right)$$

onde:

VPL: valor presente líquido;

R_i : benefícios (entradas) ou receitas no ano i ;

C_i : custos(saídas) no ano i ;

r : taxa de desconto

Na escolha entre dois ou mais projetos distintos, o critério estritamente econômico consiste em dar preferência àquele cujo valor atual dos lucros é maior.

Ainda segundo Hoffman et al. (1992), a taxa interna de retorno (TIR) é o percentual que expressa a rentabilidade (retorno) anual média do capital alocado no projeto, durante todo o horizonte de análise do projeto. A TIR é o valor da taxa de juros que faz com que o valor atual dos lucros do projeto seja igual a zero. Esse indicador pode ser calculado iterativamente (pesquisa operacional) ou através de raízes do polinômio e, ainda, interpolação.

Segundo Azevedo Filho (1996), o período “payback” ou prazo de recuperação do capital é um indicador voltado à medida do tempo necessário para que um projeto recupere o capital investido. Dessa forma, quanto menor o período “payback”, mais atrativo é o projeto em termos econômicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área do experimento

A pesquisa foi realizada no período de julho de 2007 a janeiro de 2009 no Núcleo D do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste–CE, em área de 105 x 105 m (FIGURA 1). O solo apresenta textura franco-argilosa, classificado como NEOSSOLO FLÚVICO com percentagem de sódio trocável em torno de 50%, porém sem problemas de sais solúveis. O clima da região de acordo com a classificação de Köeppen corresponde ao tipo BSw'h', clima quente e semi-árido com chuvas irregulares distribuídas nos períodos de fevereiro a maio, com precipitação pluvial medial anual de 801 mm, evaporação de 1.475 mm; temperatura média anual em torno de 27,1°C e umidade relativa média do ar de 73,7 %.



Figura 1 - Vista da área do experimento.

Tendo em vista a necessidade de informações relativas aos principais atributos físicos e químicos do solo de interesse para a pesquisa, coletaram-se amostras de solo com estrutura deformada e amostras com estruturas não deformadas empregando-se o cilindro de Uhland, nas seguintes camadas do perfil do solo: I (0,0 a 0,30 m), II (0,30 a 0,60 m) e III (0,60 a 0,90 m). As análises foram realizadas conforme metodologia da Embrapa/SNLCS (1997).

Os valores dos atributos físicos e químicos do solo apresentados na Tabela 1 demonstram que se trata de um solo sódico. A textura do solo varia de franca nas camadas de (0-30 cm) e (60-90 cm) a franco-argilosa na camada de (30-60 cm), com predominância da fração silte. As frações de argila variam de 200 a 310%, alcalinidade muito elevada, ausência de alumínio trocável, alta saturação por bases, PST em média de 54 % (bastante elevada).

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos do solo da área do experimento

Composição Granulométrica (g.kg ⁻¹)					Classe Textural	Densidade do solo (kg.m ⁻³)	pH	CE (dS/m)
Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				
0-30	50	250	470	230	Franca	1430	9,4	1,74
30-60	50	270	390	310	Franco- argilosa	1540	9,2	1,05
60-90	50	450	300	200	Franca	1500	9,5	1,73

Complexo Sortivo (mE/100g)							
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T
8,00	3,00	0,41	13,62	0,00	0,00	25,0	25,0
7,60	2,60	0,33	14,86	0,00	0,00	25,4	25,4
10,00	2,00	0,20	10,73	0,00	0,00	22,9	22,9

V (%)	PST	C(g/kg)	N(g/kg)	C/N	M O(g/kg)	P Assimilável(mg/kg)
100	54	5,04	0,51	10	8,68	30
100	58	6,00	0,61	10	10,34	35
100	47	4,02	0,41	10	6,93	62

3.2 Preparo de solo da área do experimento

O preparo de solo da área do experimento constou inicialmente de uma aração seguida de uma gradagem com vistas a um ajuste no plano sistematizado do terreno, para fins de melhorar as condições de escoamento nos sulcos de irrigação.

Após a sistematização do terreno coletaram-se amostras de solo (FIGURA 2) nas profundidades de 0,15 m e 0,45 m, representativas das camadas de 0 – 0,30 m e de 0,30 – 0,60 m para fins de avaliar as condições de transmissão de água no perfil do solo através de testes de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) pelo método do permeâmetro de carga constante.



Figura 2 - Coleta de amostras de solo para teste de K_0 .

Considerando as elevadas percentagens de sódio trocável e, portanto, a presença de camadas retardadoras ao fluxo de água, traduzidas nos valores de K_0 praticamente nulo, toda a área do experimento foi subsolada até uma profundidade de 0,60 m. (FIGURA 3). Posteriormente realizou-se uma nova gradagem e o sulcamento, tendo em vista a irrigação ser realizada pelo sistema de sulcos.



Figura 3 - Subsolação da área do experimento.

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso constituído de cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram assim constituídos: T₀: Testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ de gesso + 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₄: 10 t.ha⁻¹ de gesso + 20 t.ha⁻¹ de matéria orgânica. Na FIGURA 4 visualiza-se o croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos. A parcela experimental foi de 21 x 21m (441 m²).

A distribuição da matéria orgânica e do gesso agrícola foi realizada de forma manual no dia 06 de novembro de 2007. (FIGURA 5), tendo-se o cuidado de proceder a uma uniformização de sua respectiva quantidade por tratamento. Após a distribuição dos melhoradores químicos realizou-se a incorporação através de uma gradagem.

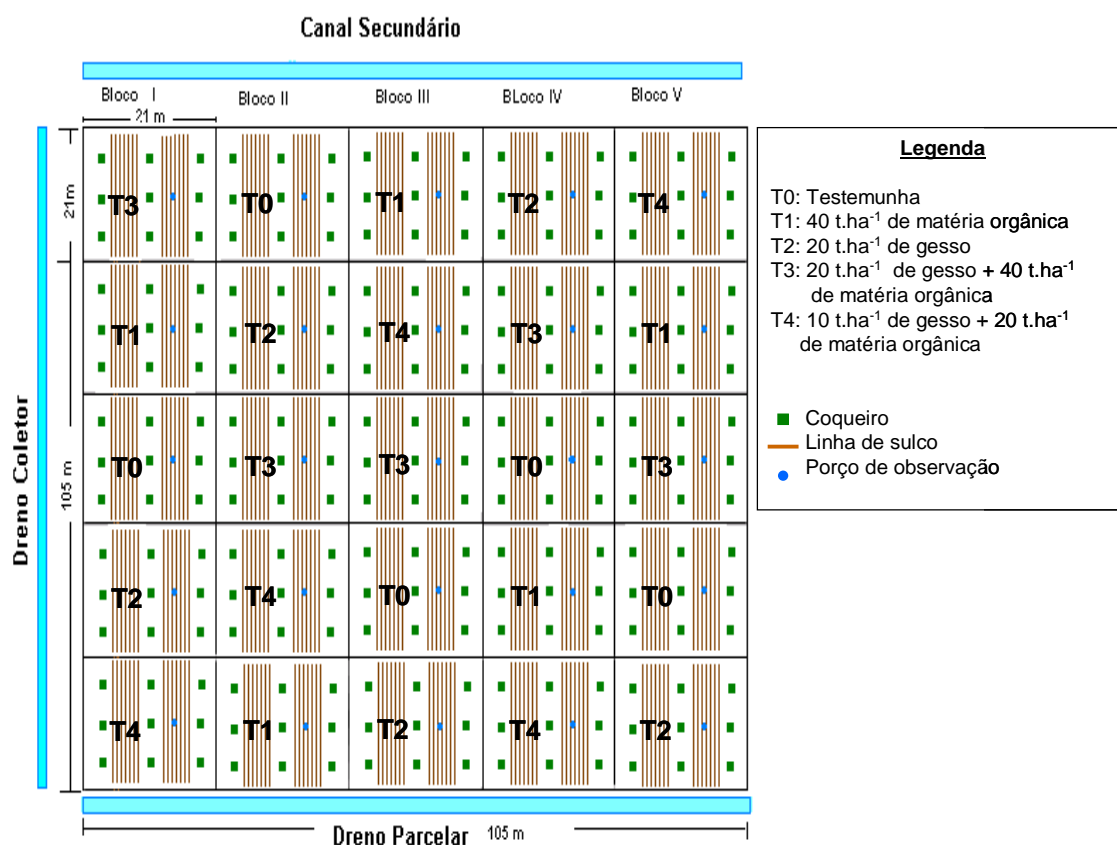


Figura 4 - Croqui do experimento com a distribuição dos tratamentos.



Figura 5 - Distribuição de matéria orgânica e de gesso agrícola.

3.4 Poços de observação do lençol freático

As flutuações do lençol freático podem propiciar situações de estresse não só de excesso de água, como também de seca, e alternadamente, durante o ciclo de uma cultura. A instalação dos poços de observação foi realizada com o auxílio de um trado, após a abertura do furo no solo foi colocado um tubo tipo esgoto de 50 mm, contendo perfurações para permitir a entrada de água dentro do tubo para obtenção das leituras. Os tubos foram revestidos com uma manta de bidim para evitar que sedimentos entupissem os furos feitos no tubo.

Na pesquisa, as leituras de profundidade do lençol freático foram realizadas com auxílio de uma trena que na sua parte final tinha um pedaço de cano preenchido com um pouco de cimento deixando uma parte oca que auxiliava na emissão de um som, quando a trena tocava na água. As leituras eram realizadas diariamente durante todo o ciclo da cultura do feijão-de-corda em 25 poços de observação com profundidade de 1,5 m cada (FIGURA 6) localizados no centro de cada parcela.

Os poços de observação do lençol freático foram também utilizados para se realizar em duas oportunidades (18.11.08 e 09.12.08) coletas de água do lençol freático para fins de análises.

Os dados de cotas do terreno junto a cada um dos poços de observação obtidos através de nivelamento geométrico, associados com as leituras de profundidade do lençol freático permitiram a obtenção das cotas do lençol freático junto a estes poços. Considerando que estas cotas do lençol freático representam os potenciais totais, foi possível calcular os gradientes hidráulicos médios e, portanto, obter informações básicas que orientarão a instalação de um sistema de drenagem subterrânea na área.



Figura 6 - Poço de observação no centro de uma parcela.

3.5 Condução da cultura no campo

A semeadura do feijão-de-corda cultivar Epace 11 ocorreu no início do mês setembro de 2008 utilizando-se quatro sementes por cova. Sete dias após a semeadura procedeu-se ao desbaste deixando-se apenas duas plantas por cova. Ao longo do ciclo da cultura foram realizadas duas capinas.

A irrigação através do sistema de sulcos era realizada com frequência semanal utilizando-se como critério do tempo de reposição, a metade do tempo de avanço da água no sulco.

Uma área de 3,0 x 3,0 m no centro de cada parcela foi delimitada com vistas à análise da produtividade da cultura.

3.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo a comparação entre médias realizada pelo teste de Tukey, utilizando-se para tal fim o Sistema de Análise Estatística - Sanest.

3.7 Indicadores de rentabilidade do processo de recuperação

Na análise do processo de recuperação consideraram-se os benefícios e os custos desde o início do processo de recuperação do referido solo, vislumbrando-se uma análise de sensibilidade com a produção da cultura do coqueiro e o consórcio com feijoeiro até o terceiro ano.

A análise da viabilidade econômica da recuperação do solo da área do experimento foi realizada com base nos seguintes indicadores – relação benefício/custo, valor presente líquido, taxa interna de retorno e período “payback”.

Para o cálculo da TIR na presente pesquisa, utilizou-se um programa computacional. A taxa mínima de atratividade de retorno considerada no estudo foi de 12%, devendo, portanto o valor da TIR superar este valor para que o projeto apresente viabilidade econômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produtividade do feijão- de- corda associada aos tratamentos

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da variável-resposta produtividade do feijoeiro, em kg.ha^{-1} , utilizada para testar a influência dos tratamentos.

A menor produtividade média do feijão-de-corda foi obtida no tratamento T_0 ou testemunha, o qual não recebeu adição de gesso, nem de matéria orgânica. Já a maior produtividade média do feijoeiro foi obtida no tratamento T_3 , o qual foi associado à aplicação de 20 t.ha^{-1} de gesso e 40 t.ha^{-1} de matéria orgânica. Esta produtividade de 982 kg.ha^{-1} foi inferior em apenas 18% à média de produtividade obtida em solos sem problemas de salinidade do Perímetro.

As produtividades médias do feijoeiro associadas aos tratamentos T_1 (40 t.ha^{-1} de matéria orgânica), T_2 (20 t.ha^{-1} de gesso) e T_4 (10 t.ha^{-1} de gesso + 20 t.ha^{-1} de matéria orgânica) apresentaram valores absolutos bastante semelhantes. Estes resultados sinalizam para a necessidade de matéria orgânica e gesso respectivamente, numa relação aproximada de 2:1. Já ao se duplicar a aplicação dos níveis de gesso e matéria orgânica, a produtividade do feijão-de-corda se elevou em torno de 44%, conforme se observa nos resultados associados aos tratamentos T_4 e T_3 .

Os preços de aquisição por tonelada, considerando os custos de transporte até a propriedade agrícola foram à época do experimento, da ordem de R\$115,00 e R\$105,00 para o gesso e a matéria orgânica, respectivamente. Estes valores demonstram ser bem mais atrativa para o agricultor a aquisição do gesso, considerando os resultados de produtividade obtidos com a cultura do feijão-de-corda para as condições deste trabalho.

Nas Tabelas 3 e 4 consta respectivamente, o resumo da análise de variância e o teste de Tukey para médias de tratamentos para a variável-resposta produtividade do feijão-de-corda.

Observa-se, com base nos resultados das análises estatísticas, que, embora a produtividade média do feijão-de-corda tenha apresentado uma tendência bastante diferenciada em relação aos tratamentos - decréscimo de 54,5% entre os valores de maior amplitude (tratamentos T_3 e T_0) - tais discrepâncias não foram estatisticamente significativas em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2- Produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função dos tratamentos

Tratamentos*	BLOCOS				
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
T ₀	258,3	408,2	63,9	966,9	536,1
T ₁	443,1	183,9	275,8	704,7	1723,2
T ₂	55,00	334,6	166,7	1466,3	1000,2
T ₃	584,7	52,6	266,7	1968,4	2038,9
T ₄	55,8	61,4	699,9	506,9	2075,7

*Significado dos tratamentos: T₀: testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ (gesso) + 40 t.ha⁻¹ (M.O); T₄: 10 t.ha⁻¹ (gesso) + 20 t.ha⁻¹ (M.O).

Tabela 3 - Análise de variância da variável produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Variável-resposta	G.L.	S.Q.	Q.M	Valor F	P > F
Produtividade do feijão-de-corda	4	758070.2	189517.5	0.99	0.558

Tabela 4 - Teste de Tukey para comparação de médias de produtividade do feijão-de-corda sobre os diferentes tratamentos

Tratamento*	Produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
T ₀	446,7 a
T ₁	666,1 a
T ₂	604,6 a
T ₃	982,3 a
T ₄	681,5 a

* T₀: testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ (gesso) + 40 t.ha⁻¹ (M.O); T₄: 10 t.ha⁻¹ (gesso) + 20 t.ha⁻¹ (M.O).

4.2. Produtividade do feijão-de-corda associada aos níveis médios de profundidade do lençol freático

Levantamentos preliminares demonstraram que o dreno coletor que margeia a área do experimento funcionava como uma fonte de recarga para a área do experimento, tendo em vista um gradiente hidráulico crescente no sentido do coletor da ordem de $0,013 \text{ m.m}^{-1}$, acarretando daí um fluxo de água subterrânea do coletor para a área do experimento.

Desta forma foi realizada uma limpeza do coletor como forma de propiciar fluxo de saída de água e conseqüentemente, condições propícias para que ele desempenhasse sua função como fonte de descarga do fluxo superficial e subterrâneo advindo da área do experimento (Figuras 7 e 8).



Figura 7 - Coletor antes da limpeza (fonte de recarga).



Figura 8 - Coletor após a limpeza (fonte de descarga).

O comportamento do lençol freático, conforme se visualiza na Figura 9, demonstra que o dreno coletor antes da limpeza não estava desempenhando a sua função de descarga de fluxo oriunda da área, mas sim como fonte de recarga, considerando o gradiente de potencial total da ordem de $0,018\text{m.m}^{-1}$ e crescente no sentido área-coletor.

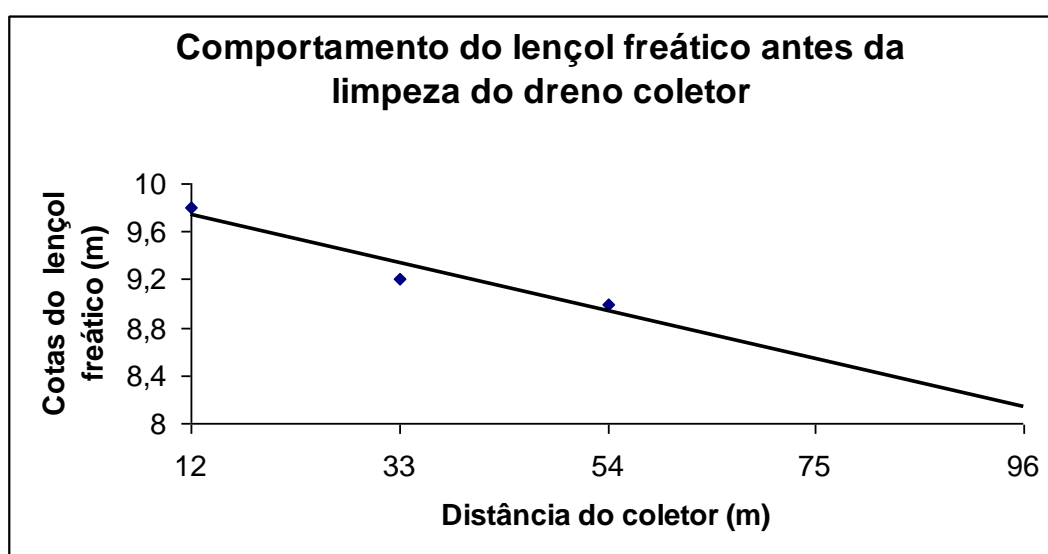


Figura 9 - Coletor como fonte de recarga à área.

Considerando a baixíssima capacidade de transmissão de água no perfil de solo como consequência da elevada percentagem de sódio trocável no início do experimento, entre 50% e 60%, e ainda a limitação quanto à cota de saída de um sistema de drenagem subterrânea junto ao coletor, não foi instalado a princípio um sistema de drenos subterrâneos de alívios.

A não instalação do sistema de drenos de alívios acarretou após as recargas de irrigação, níveis freáticos bastante variáveis na área do experimento, conforme demonstram os perfis de profundidade do lençol freático no sentido coletor – área do experimento, a partir de informações obtidas junto a cinco linhas de poços de observação instaladas às distâncias de 12, 33, 54, 75 e 96 m do canal secundário (Figura10).

Depois de realizada a limpeza do dreno coletor, o mesmo voltou a desempenhar a sua função de descarga de água, conforme demonstram as linhas que representam os potenciais totais (Figura 10). Os valores de cotas do lençol freático estão na razão direta do tempo de oportunidade de infiltração da água ao longo do sulco de irrigação.

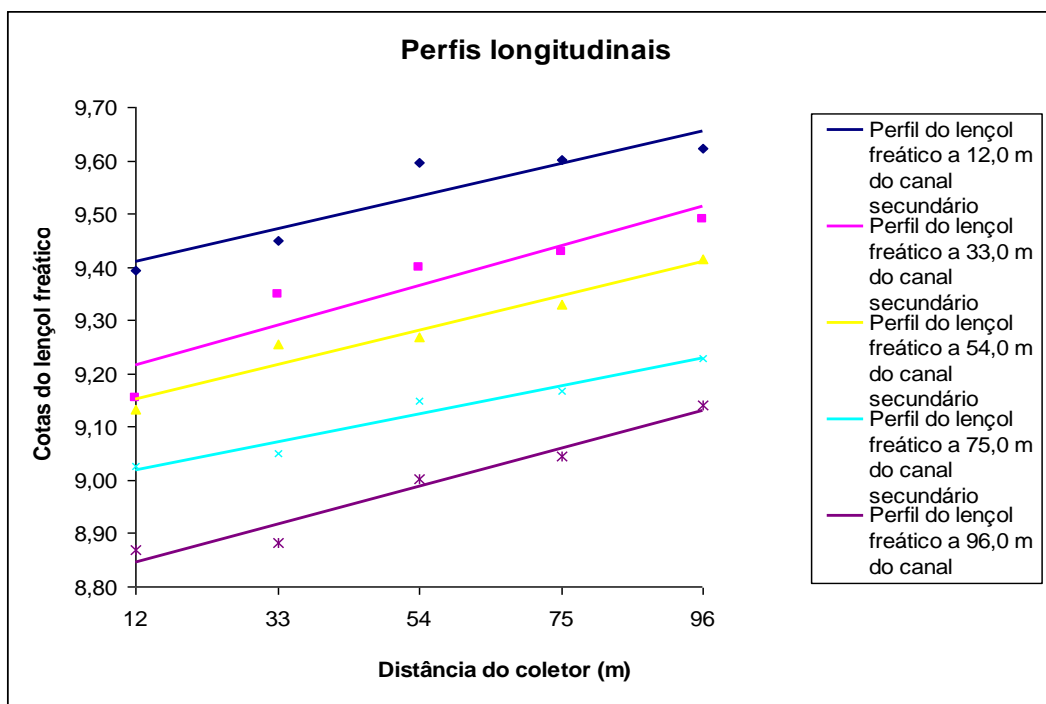


Figura 10 - Perfis longitudinais do lençol freático a 12, 33, 54, 75 e 96 m do canal secundário.

Na Tabela 5 visualizam-se os dados de produtividade do feijão-de-corda ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e profundidades médias do lençol freático para cada um dos tratamentos, os quais permitiram a obtenção de uma função de resposta, conforme Figura 11. Verificou-se um incremento na produtividade do feijão-de-corda à medida que o lençol freático se distanciava da profundidade média das raízes, em torno de 0,40m, porquanto tratar-se de cultura sensível ao excesso de água. Cabe destacar que o sistema de irrigação por sulcos proporcionou elevações nos níveis do lençol freático após os eventos de irrigação.

Em um experimento para avaliar o efeito de duas profundidades do lençol freático (0,55 e 0,75 m) sobre o desempenho do feijão-de-corda, Valadão e Klar (1996) observaram que o nível mais profundo do lençol freático proporcionou uma queda na produtividade da ordem de 46 % em relação ao mais superficial.

Saad e Calegaro (2008), também avaliaram os efeitos de níveis freáticos na produtividade do feijoeiro e observaram que as maiores produtividades estavam associadas aos dois níveis freáticos mais elevados (0,30 e 0,40m). Cabe destacar que estes estudos foram realizados em lisímetros de drenagem, cujo suprimento de água às plantas se dava por ascensão capilar.

Tabela 5 - Produtividade do feijão-de-corda em função de níveis freáticos

Tratamentos	PMLF (m)	Produtividade (kg.ha⁻¹)
T ₀ B ₁	0,40	258,3
T ₀ B ₂	0,85	408,2
T ₀ B ₃	0,67	63,9
T ₀ B ₄	0,85	966,9
T ₀ B ₅	0,95	536,1
T ₁ B ₁	0,56	443,1
T ₁ B ₂	0,51	183,9
T ₁ B ₃	0,87	275,8
T ₁ B ₄	0,83	704,7
T ₁ B ₅	1,12	1723,2
T ₂ B ₁	0,40	55,00
T ₂ B ₂	0,65	334,6
T ₂ B ₃	0,58	166,7
T ₂ B ₄	0,98	1466,3
T ₂ B ₅	0,86	1000,2
T ₃ B ₁	0,61	584,7
T ₃ B ₂	0,50	52,6
T ₃ B ₃	0,73	266,7
T ₃ B ₄	0,95	1968,4
T ₃ B ₅	1,00	2038,9
T ₄ B ₁	0,38	55,8
T ₄ B ₂	0,57	61,4
T ₄ B ₃	0,74	699,9
T ₄ B ₄	0,77	506,9
T ₄ B ₅	1,13	2075,7

PMLF: Profundidade média do lençol freático.

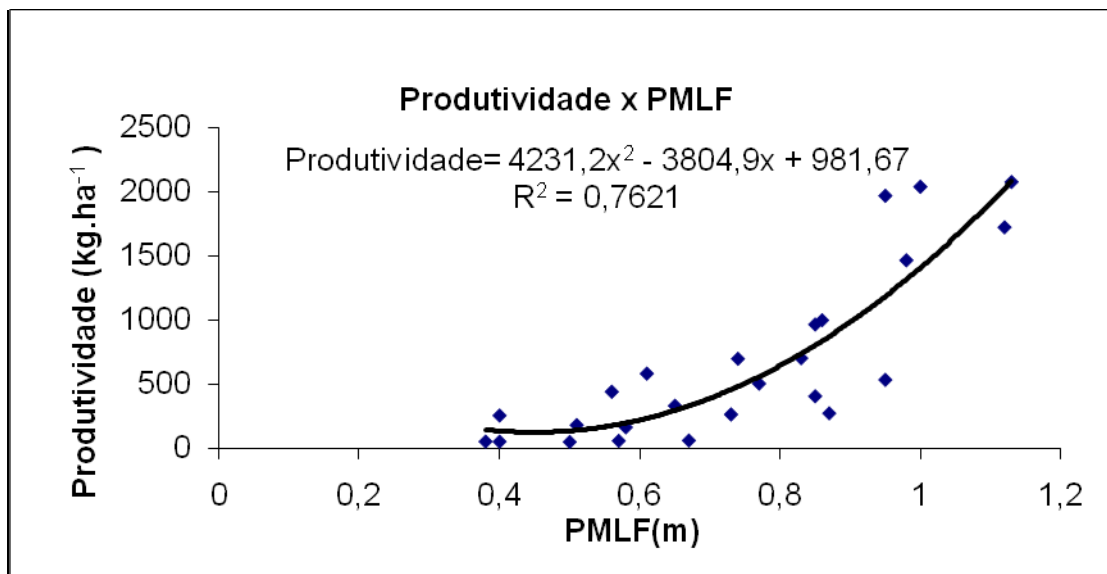


Figura 11 - Produtividade do feijão-de-corda em função da profundidade do lençol freático.

4.3 Efeitos da aplicação dos tratamentos na percentagem de sódio trocável

Os valores médios de percentagem de sódio trocável (PST) do solo da área no início do experimento, de 54, 58 e 47%, nas profundidades de 0,15m, 0,45m e 0,75m, respectivamente foram oriundas de uma amostra composta da área. Foram coletadas antes da instalação da cultura no campo, verificam tratar-se de um solo sódico com elevadíssimos valores de sódio trocável, tomando-se como base o valor de referência da ordem de 15% (RICHARDS, 1954).

Com o propósito de verificar a magnitude da redução da PST do solo proporcionada pela aplicação dos tratamentos, amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0,15 m durante a condução e ao final do experimento, nos dias 16.02.09 e 10.06.09, respectivamente. Cabe destacar que na região onde foi realizado o experimento, estes períodos coincidem com o início e o final do período chuvoso, cujo total pluviométrico foi bem superior à média histórica.

Os dados apresentados na Tabela 6 que conferem as reduções nos valores de PST do solo no período analisado, só foram possíveis devido ao uso dos condicionadores químicos (gesso) e condicionador biológico (matéria orgânica), que agem diretamente nos atributos químicos e físicos do solo, a subsolagem do solo, que proporcionou uma melhoria nas condições de transmissão de água no solo

contribuindo assim com a lavagem promovida pelas chuvas, embora não tivesse um sistema de drenagem subterrânea, o que certamente contribuiria positivamente neste processo.

Oliveira (1997) e Gomes et al. (2000) constataram que a aplicação de gesso em solos sódicos permite transformar em sulfatos parte dos carbonatos de sódio do solo e deslocar o sódio adsorvido no complexo de troca.

A redução nos valores de PST após o período chuvoso foi observada, também, conforme se visualiza na Figura 12, no tratamento testemunha (T_0), onde não houve aplicação de condicionador químico. Tal fato pode ser explicado pela melhoria nas condições de transmissão de água no perfil do solo decorrente da subsolagem do solo da área do experimento, e a possibilidade do movimento subterrâneo da solução do solo oriunda de tratamentos vizinhos.

A maior redução média nos valores de PST logo após o período chuvoso deveu-se à recarga pluviométrica significativa, tendo em vista que o gesso apresenta baixa solubilidade, da ordem de $2,0 \text{ g.L}^{-1}$.

A maior redução média no valor da PST considerando o valor inicial da PST da ordem de 54% e o valor final após o período chuvoso ocorreu no tratamento T_3 , com redução média da PST para o nível de 4%. Este tratamento foi constituído pela aplicação de 20 t.ha^{-1} de gesso e 40 t.ha^{-1} de matéria orgânica. De acordo com Gheyi et al. (1995), a aplicação de gesso em solos salino-sódicos resulta em uma expressiva diminuição da PST logo no primeiro ano de sua aplicação.

Gomes et al. (2000), estudando as melhorias dos atributos químicos de um solo salino-sódico observaram que o tratamento com gesso na camada superficial sobressaiu-se dos demais tratamentos. Identificaram também nesse estudo diminuições da PST no tratamento testemunha. Os autores observaram também reduções da PST de 48,5% para 14% no tratamento com esterco de curral, de 46% para 29%, no tratamento com casca de arroz e de 25% para 17,7% com a aplicação de gesso.

Tabela 6 – Valores de PST durante a condução do experimento e ao final

Tratamentos	PST (16/02/09)	PST (10/06/09)
T ₀ B ₁	20	12
T ₀ B ₂	8	9
T ₀ B ₃	49	10
T ₀ B ₄	36	7
T ₀ B ₅	24	15
T ₁ B ₁	26	15
T ₁ B ₂	44	42
T ₁ B ₃	22	9
T ₁ B ₄	39	16
T ₁ B ₅	4	5
T ₂ B ₁	39	28
T ₂ B ₂	34	8
T ₂ B ₃	33	20
T ₂ B ₄	4	1
T ₂ B ₅	30	15
T ₃ B ₁	27	2
T ₃ B ₂	25	12
T ₃ B ₃	21	3
T ₃ B ₄	9	1
T ₃ B ₅	3	2
T ₄ B ₁	32	37
T ₄ B ₂	53	21
T ₄ B ₃	16	11
T ₄ B ₄	53	39
T ₄ B ₅	3	1

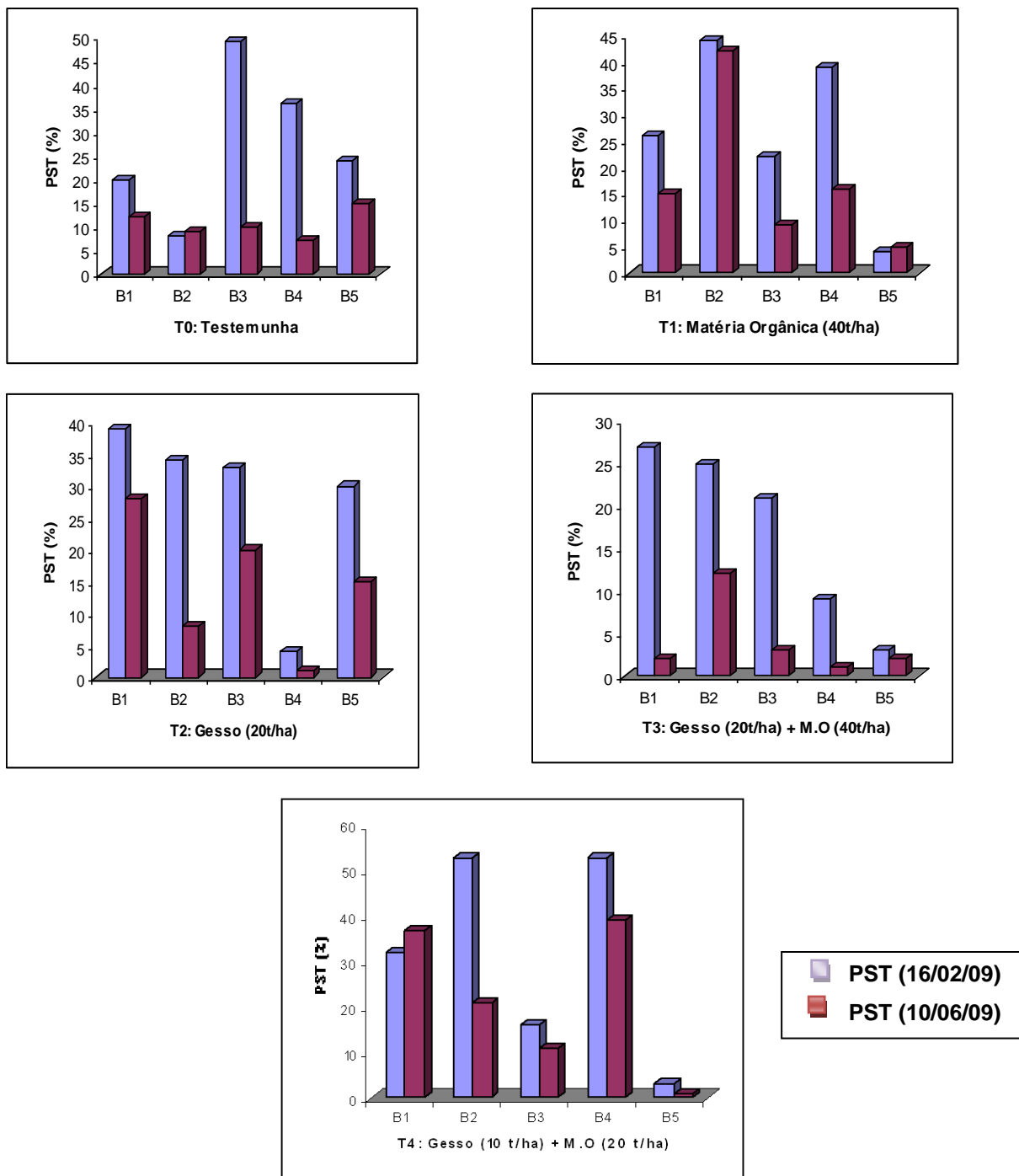


Figura 12 - Variação da percentagem de sódio trocável do solo antes e após tratamento (PST).

Os resultados referentes às análises química das amostras de água de 2 poços de observação próximo ao dreno coletor encontram-se na Tabela 7. Dentre os cátions que mais predomina, podemos destacar o íon sódio. Os valores de pH encontrados na água dos poços de observação revelam serem normais. Já os valores

de condutividade elétrica (CE) e a relação de adsorção de sódio (RAS) se encontram com valores bem elevados.

Nesses dois poços que foram extraídas as amostra, podemos observar que as águas foram classificadas com C_3S_2 e C_4S_4 passando de alta salinidade para salinidade muito alta e com referência a sodicidade classificou-se de alto conteúdo de sódio para muito elevado.

Tabela 7 - Resultados da análise de água dos poços de observação

Cátions ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)					Ânions ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)	
Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Σ	Cl^-	HCO_3^-
2,00	2,80	10,47	0,31	15,58	12,00	3,40
0,50	1,40	19,83	0,13	21,85	10,80	11,20
CE (dSm^{-1})	RAS	pH	Sólidos Dissolvidos (mg L^{-1})		Classificação	
1,54	6,76	6,9	1540		C_3S_2	
2,27	20,34	7,6	2270		C_4S_4	

4.4 Orientações básicas para instalação do sistema de drenagem subterrânea

Na Figura 13 se visualizam as isolinhas do lençol freático para o dia 23.10.08, logo após uma irrigação. Conforme os dados, a amplitude destas cotas é de 0,29m, com gradientes hidráulicos médios entre 0,2 e 0,3%. Costa (1994) analisou através de curvas de nível o comportamento do lençol freático. Conforme o autor este procedimento é essencial para uma investigação básica, que serve como orientação para a instalação de um sistema de drenagem subterrânea.

A drenagem subterrânea é efetuada mediante dois sistemas distintos, denominados sistema de alívio e sistema de intercepção. Para sua escolha, instalação e desempenho eficiente são imprescindíveis conhecer a direção predominante do escoamento do lençol freático, o gradiente hidráulico e suas flutuações periódicas no perfil do solo (U.S.D.A. – Soil Conservation Service, 1973).

4.5 Análise econômica do processo de recuperação do solo sódico

A Tabela 8 apresenta um demonstrativo do custo de recuperação de 1,0 ha do solo sódico para cada um dos tratamentos. Os valores demonstram que na composição do custo de recuperação, o uso e os níveis dos melhoradores químicos são relevantes na composição final do referido custo.

Tabela 8 - Custo de recuperação do solo (R\$.ha⁻¹) em função dos tratamentos

Tratamento*	Subsolagem	Limpeza Coletor	Gesso	Matéria Orgânica	Custo recuperação
T ₀	180,00	300,00	-	-	480,00
T ₁	180,00	300,00	-	4.200,00	4.680,00
T ₂	180,00	300,00	2.300,00	-	2.780,00
T ₃	180,00	300,00	2.300,00	4.200,00	6.980,00
T ₄	180,00	300,00	1.150,00	2.100,00	3.730,00

*Significado dos tratamentos: T₀: testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ (gesso) + 40 t.ha⁻¹ (M.O); T₄: 10 t.ha⁻¹ (gesso) + 20 t.ha⁻¹ (M.O).

A Tabela 9 apresenta um demonstrativo do valor bruto da produção (VBP) gerado pela cultura do feijoeiro no processo de recuperação do solo sódico para cada um dos tratamentos. Tal qual na composição do custo de recuperação, os valores de VBP apresentam uma estreita relação com a aplicação e os referidos níveis dos melhoradores químicos.

Na Figura 14 se visualiza o comportamento do valor bruto da produção (VBP) em função do custo de recuperação do solo sódico para cada um dos tratamentos. Verifica-se que o aumento de uma unidade no custo de recuperação proporciona um aumento de 0,1177 no custo da recuperação. O coeficiente de determinação sugere que a variação de 93,12% do valor bruto da produção foi explicada pela regressão linear da receita bruta (RB) em função dos custos da recuperação (CR) para o processo de recuperação do solo.

Tabela 9 - Receita bruta (R\$.ha⁻¹) do feijão-de-corda em função dos tratamentos

Tratamento*	Prod. média(kg.ha ⁻¹)	P.V (R\$.kg ⁻¹) *	VBP (R\$.ha ⁻¹)
T ₀	446,68	1,5	670,0
T ₁	666,14	1,5	999,2
T ₂	604,56	1,5	906,8
T ₃	982,26	1,5	1.473,4
T ₄	679,94	1,5	1.019,9

*T₀: testemunha; T₁: 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica; T₂: 20 t.ha⁻¹ de gesso; T₃: 20 t.ha⁻¹ (gesso) + 40 t.ha⁻¹ (M.O); T₄: 10 t.ha⁻¹ (gesso) + 20 t.ha⁻¹ (M.O); P.V: preço de venda.

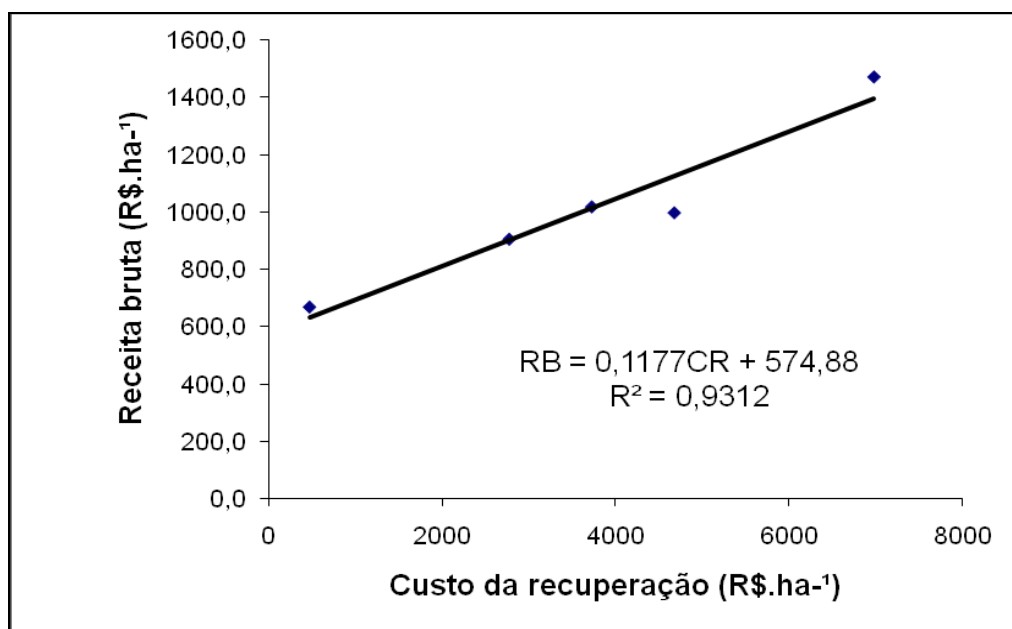


Figura 14. Valor bruto da produção em função do custo de recuperação.

4.6 Análise dos indicadores de rentabilidade

A análise dos indicadores de rentabilidade foi realizada de forma “ex-ante” e “ex-post”. Consideraram-se os custos e/ou investimentos na recuperação do solo sódico e instalação de um sistema de drenagem subterrânea. Quanto aos benefícios foram constituídos pelos valores brutos da produção associados às culturas do feijoeiro consorciado com a cultura do coqueiro até o terceiro ano.

A amortização dos investimentos da recuperação do solo sódico e instalação do sistema de drenagem subterrânea foram realizadas em três anos com período de carência de dois anos.

Na Tabela 10 são apresentados os elementos econômicos para cálculo dos indicadores de rentabilidade, considerando-se um horizonte de 10 anos. As receitas dos dois primeiros anos foram compostas pelo valor bruto da produção (VBP) da cultura do feijão-de-corda. No terceiro ano, pelo VBP das culturas do feijão-de-corda e do coqueiro e, nos demais anos, pelo VBP da cultura do coqueiro.

Quanto aos custos do processo de recuperação compuseram-se no primeiro ano do custo de produção da cultura do feijão-de-corda e custo de instalação e produção da cultura do coqueiro. No segundo ano, do custo de produção da cultura do feijoeiro e manutenção da cultura do coqueiro. No terceiro ano, do custo de produção e manutenção das culturas do coqueiro e feijoeiro, além da primeira parcela da amortização dos investimentos. No quarto e quinto anos, do custo de manutenção da cultura do coqueiro e respectivas amortizações e, do sexto ao décimo anos, do custo de manutenção da cultura do coqueiro.

Tabela 10 - Dados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade

Ano*	Valores Nominais (R\$)		FD (r =12%)	Valores Atualizados (R\$)	
	Custos	Receitas		Custos	Receitas
1	2.745,00	1.473,00	1,0000	2.745,00	1.473,00
2	1.745,00	1.473,00	0,8929	1.558,11	1.315,24
3	5.472,00	3.167,00	0,7972	4.362,28	2.524,73
4	4.527,00	2.543,00	0,7118	3.222,32	1.810,11
5	4.527,00	3.391,00	0,6355	2.876,91	2.154,98
6	800,00	4.239,00	0,5674	453,92	2.405,21
7	800,00	4.239,00	0,5066	405,28	2.147,48
8	800,00	4.239,00	0,4523	361,84	1.917,30
9	800,00	4.239,00	0,4039	323,12	1.712,13
10	800,00	4.239,00	0,3606	288,48	1.528,58
Soma	23.016,00	33.242,00		16.597,26	18.988,76

*Definiu-se como ano 1 o primeiro ano do horizonte de planejamento do projeto, para efeito de análise do investimento.

Os indicadores de rentabilidade, considerando-se uma taxa de desconto de 12% ao ano, do processo de recuperação foram de: relação benefício/custo (B/C) de 1,14; valor presente líquido (VPL) de R\$ 2.391,90 e taxa interna de retorno (TIR) igual a 20,86 %. Os referidos indicadores demonstram, com base nos critérios de decisão, boa viabilidade do processo de recuperação ($B/C > 1,0$ e $VPL > 0$). Quanto à taxa interna de retorno (20,86%), principal indicador de rentabilidade de um projeto, por ser maior do que o custo de oportunidade do capital considerado na presente análise (12%) mostra a viabilidade do referido processo. Em outras palavras, a TIR igual a 20,86 % significa que o capital alocado no projeto suporta uma elevação da taxa de desconto de até 20,86 ao ano para cada ano do horizonte de análise do projeto. Ou seja, o referido investimento só será inviável se a taxa média de juros de mercado atingir valores superiores à referida taxa interna de retorno (20,86 %).

Na análise de rentabilidade para uma taxa de juros de 6% ao ano, a relação benefício/custo (B/C) é de 1,28; o valor presente líquido (VPL) é de R\$ 5.328,85 e a taxa interna de retorno (TIR) igual a 20,86, demonstrando alta viabilidade do processo de recuperação; pois, a esta taxa todo o investimento realizado será recuperado e remunerado à taxa de 6%, e ainda provocará um lucro extra igual a R\$ 5.328,85.

5 CONCLUSÕES

1. A produtividade do feijoeiro com o uso de melhoradores químicos foi superior em 120% à produtividade sem o uso destes melhoradores e inferior em apenas 18% à produtividade da cultura em solos sem problemas de sais do Perímetro.

2. As maiores produtividades do feijoeiro estão associadas a maiores profundidades do lençol freático. O incremento de produtividade do feijoeiro com a profundidade do lençol freático ocorreu a uma taxa crescente.

3. A aplicação de 20 t.ha⁻¹ de gesso e 40 t.ha⁻¹ de matéria orgânica proporcionou já no primeiro ano, a redução da percentagem de sódio trocável do solo, inicialmente de um valor médio superior a 50% para um valor convergente de 2%.

4. Limitação quanto à cota de saída dos drenos laterais orientam para a instalação do sistema de drenagem subterrânea do tipo intercepção, embora os gradientes hidráulicos médios do movimento de água subterrânea sejam bem inferiores a 1%.

5. A taxa relacionada entre o valor bruto da produção gerado exclusivamente pela cultura do feijoeiro e o custo da recuperação do solo, demonstra que a renda gerada pela cultura contribui com apenas 12% do custo da recuperação do solo sódico.

6. O processo de recuperação demonstra uma boa viabilidade a uma taxa de 12% ao ano e alta viabilidade a uma taxa de juros de 6% ao ano, revelando que a essa taxa todo o investimento realizado será recuperado e remunerado e ainda provocará um lucro extra igual a R\$ 5.328,85.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, J.R. de A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de. **Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.167-176, 2002.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água para agricultura**. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F. de; Damasceno, F. A. V. Campina Grande, 1999. 128 p.

AZEVEDO FILHO, A. J. B. V. **Análise econômica de projetos**: “software” para situações determinísticas e de risco envolvendo simulação. 1988. 127 f. Dissertação (Mestrado em Economia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1988.

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

BARROS, C.F de M.; FONTES, F.P.M.; ALVAREZ , H.V.; RUIZ, A.H. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p. 320-326, 2005.

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

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MONTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7ª ed. Viçosa: Ed. UFV, p.611, 2005.

CARVALHO, F.G.; STAMFORD, N.P. Fixação do N₂ em leucena (*Leucaena leucocephala*) em solo da região semi-árida brasileira submetido à salinização. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.237-243, 1999.

CARNEIRO; P.T.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.199-206, 2002.

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

COSTA, R. N. T.; CRUCIANI, D. E.; BISERRA, J. V. **Análise Econômica Comparativa de Espaçamentos de Drenos Laterais em Cultura de Milho (Zea mays, L.)**. Eng. Rural. 6(2): p.1-84, Piracicaba-SP, 1995.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo, 1987, 337 p.

DIAS, N.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. (Tese de Doutorado), Piracicaba: ESALQ/ USP, São Paulo, f. 110, 2004.

DUTRA, I.; MEDEIROS, J.F. de; PORTO FILHO, F. de Q.; COSTA, M. da. C. Determinação do fator de cobertura do melão cultivado sob diferentes lâminas e salinidades da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.146-151, 2000.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FREIRE, M. B. G. dos S. et al. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p. 227-232, 2003 a.

FREIRE, M.B. dos S; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ, V.H.; FREIRE, J.F. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.227-232, 2003.

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

GONÇALVES, N.A. Fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento de árvores em regiões-áridas e semiáridas do nordeste brasileiro. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba,v.3, n.10, p.99-105. jun.1982.

GURGEL, M.T.; MEDEIROS de, J.F.; NOBRE, R.G.; NETO, F.C., SILVA, F.V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciência da terra**, v.3, n.2, 2º semestre, 2003.

GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C.; BATISTA, M.A.F.; SANTOS, J.G.R. Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do solo** v.19, p.173-178, 1995.

GHEYI, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA et al. (Orgs.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFS/SBCS, p.123-145, 2000.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: 7. ed. São Paulo: Pioneira, 1992. 325 p

KÖPPEN, N.W. Climatologia: Com um estúdio de los climas de la tierra. Mexico, Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

HORNEY, R. D.; TAYLOR, B.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. A., LESCH, S. M.; PLANT, R. E. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005.

HIRSCHFELD, H. Engenharia econômica e análise de custos. 7 ed. São Paulo **Atalas**, 2000, 520 p.

IZZO, R. NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, F. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, **New York**, v.14, p.687-699, 1991.

KEIFFER, C.H.; UNGAR, I. A. Germination and establishment of halophytes on brine-affected soils. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, p.402-415, 2002.

LACERDA, C. F. **Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino**, 2000. 163 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Ed. RIMA, 2000, 529 p. il.

LEAL, G.I.; ACCIOLY, A de M.A.; NASCIMENTO do A.W.C.; FREIRE, S dos G.B.M.; MONTENEGRO, A de A.A.; FERREIRA, L de F. Fitorremediação de solo salino por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.32, p. 1065-1072, 2008.

LEBRON, I.; SUAREZ, D.L.; YOSHIDA, T. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.92-98, 2002.

LEITE, E.M.; CAVALCANTE, L.F.; DINIZ, A.A.; SANTOS, R.V. dos.; ALVES, G da S.; CAVALCANTE, I.H.L. Correção da sodicidade de dois solos irrigado em resposta a aplicação de gesso agrícola. **Irriga, Botucatu**, v.12, n.2, p. 168-176, abril- junho 2007.

LEITE, E.J. **Efeitos de diferentes níveis de gesso e matéria orgânica na recuperação de solos com problema de sódio**. 1990. 64 f. Dissertação (Mestrado), Campina Grande: UFPB, 1990.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses. water, radiation, salt, and other stress**. v 2, 2 ed. Academic Press, New York, 1980.

LEVY, G.J.; SHAINBERG, I.; MILER, W.P. Physical properties of sodic soils. In:_____. Summer, M.E.; Naidu, R. (eds.), **Sodic soils: Distribution, properties, management and environmental consequences**. New York: Oxford University Press, 1998. p.77-94.

LIMA, L.A.; GRISMER, M.E. & NIELSEN, D.R. Salinity effect on Yolo Loam hydraulic properties. **Soil Science**, v.150, p, 451- 458, 1990.

LIMA, L.A. Efeito de sais no solo e na planta In: GHEYI, H. R.; QUEIROS, J.E.; MEDEIROS, J.M. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. (ed), Campina Grande: UFPB/ SBEA, 1997 p.113-136.

MACÊDO, L. de. S.; MENINO, I. B. Monitoramento de sais na água e nos solos irrigados do projeto vereda Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.2, n.1, p.47-51, 1998.

MACÊDO, L. de S.; SOUSA, M.R. de.; MORRILL, W.B.B. Drenagem para controle da salinidade **Tecnologia. & Ciência. Agropecuária**, v.1, n.2, p. 69-71, dez, 2007.

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

MEDEIROS, J.F. Salinização em áreas irrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M.V. et al. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, cap.2, p.201-240, 2001.

MELO, M.R.; BARROS, C.F de M.; SANTOS dos M.P.; ROLIM, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p. 376-380, 2008.

MOHAMMAD, M.J. *et al.* Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. **Jornal. Plant Nutrition**, v. 26, n. 1, p. 125-137, 2003.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G. **Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semi – Árido**. IN: CABRAL, J.S.P.; FERREIRA, J.P.C.L.; MONTENEGRO,S.M.G.L.; COSTA,W.D. **Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento**. Tópicos especiais em Recursos Hídricos v. 4. Recife: ed. Universitária da UFPE, 2004. 447 p. il., fig. Fotos, gráf. Mapas.

NETO, A.O de A; GOMES, S.C.C; LINS, V.C.C; BARROS,C.A; CAMPECHELL, M.S de F.L; BLANCO, F.F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1640-1645, nov-dez, 2007.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB; SBEA, cap. 1, p. 1-35, 1997.

OLIVEIRA JUNIOR, N.M de.; COSTA, R.N.T.; SAUDERS, L.C.U; J.V.**Análise econômico em um solo sódico submetido a um manejo integrado de recuperação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, campina Grande, v. 2, n.2.p.165-169,1998.

OLIVEIRA, L. B. de.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. da G.de V.X.; J.F.W.F. de.;MARQUES, F. A. **Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia , PE**. Pesquisa Agropecuária e Ambiental. Campina Grande, v.2, n.1, p.47-51,1998.

OLIVEIRA, L.B. de; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, M. da G. de V.X.; LIMA, J.F.W.F. de; MARQUES, F.A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia Pesq. Agropecuária. Brasileira., v.39, n.11, p.1119-1126, 2004, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. de. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/ SBEA, 1997 p 1- 37.

QADIR, M.; NOBLE, A.D.; OSTER, J.D.; SCHUBERT, S.; GHAFOR, A. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review. **Soil Use and Management**, v. 21, n. 2, p. 173 -180, 2005.

QUADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Horizontal blushing: A promising ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. **Soil Tillage Research**,v.45, p.119-131, 1998.

RAIJ, V.B. Gesso na agricultura. **Informações Agronômicas** Nº 122, junho de 2008.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D. C.: U. S. Salinity Laboratory, (USDA. Agriculture Handbook, 60). 1954. 160p

RICHARDS, L.A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. Departamento de agricultura de los Estados Unidos da América, (Manual de agricultura, 60).1954, 172 p.

SAAD,J.C.C.; CALEGARO, J. C. Water Table Effects on bean yield and nitrate distribution in the soil profile **Revista Irriga**, v.13, n.3, p. 355-366, 2008.

SARRIÉS, G.A.; ALVES, M.C.; OLIVEIRA, J. C.V. **Sanest**. S.n.t. Série Didática CIAGRI, 06 (Publicação do Centro de Informática na Agricultura da Universidade de São Paulo, campus Luiz de Queiroz).

SARTORI, M.A, **Análise de cenários de extração de óleo vegetal para a produção de biodiesel na região do norte de Minas Gerais**. (Dissertação Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. MG. 2007. 88p.

SANTOS, M.F.G.dos. **Recuperação de um solo sódico: Efeito do gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça**. 2002. 95 f. Dissertação (Mestrado em Manejo

de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB, 2002.

SAUNDERS, L.C.U.; BARBOSA, C.E.; PAIVA, F.L. & ROCHA, V.M.L. Condutividade hidráulica de um aluvião Fluvial sob condições de campo. **Ciência Agrônômica**, v.11, p.27-34, 1980.

SILVA, J. V. **Respostas fisiológicas de dois genótipos de sorgo-forrageiro a salinidade**. 2003. 103 f. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

SILVA, M. R. M. da. **Viabilidade de uso de vinhaça na recuperação de um solo salino-sódico**. 2004. 72f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB, 2004.

SILVA, E.F. da, ASSIS JÚNIOR, R.N. de, SOUSA, J.I.G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29 (3), p.389-396. 2005.

SILVA, F.R. **Efeito da relação de adsorção de sódio e concentração salina da água sobre a condutividade hidráulica e coeficiente de seletividade de Gapon em solos de diferentes texturas**. 1998, 56 f.(Tese de Mestrado). Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1988.

SHANNON, M.C. Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy**, v. 60, p.75-120, 1997.

SHAW, R.J.; COUGHLAN, K.J.; BELL, L.C. Root zone sodicity. In.: Summer, M.E.; Naidu, R. (ed.), **Sodic soils: Distribution, properties, management and environmental consequences**. New York: Oxford University Press, 1998. p. 95-106.

TEIXEIRA, I. R. Efeito da salinidade sobre a produção de matéria seca na cultivar de feijão pérola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998, 412p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil Conservation Service. Water Information Center**. Drainage of agricultural land. New York, 1973. 430p.

U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and Alkali soils**. Agriculture handbook nº 60. USDA, Washington, D.C. 160p.

VITAL, A.F.M.; SANTOS, R.V.; CAVALCANTE, L.F.; SANTO, J.S. **Comportamento de atributos químicos de um solo salino- sódico tratado com gesso agrícola e fósforo**. Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9. n.1, 30-36. 2005.

VALDIVIESO, C. R.; FÉLIX, S. G.; CORDEIRO, G. G. **Avaliação econômica da recuperação de solos salinos no perímetro de Vaza-Barris–Cocorobó, BA**. Petrolina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Embrapa, 1988. 16 p. (Documentos, n.48).

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. **Germinação e formação de mudas de alface em diferentes níveis de salinidade de água**. v.5, p.259-264, 2001.

ZHU, J.K. **Regulation of ion homeostasis under salt stress**. Curr. Opin Plant Biol. 6. 441- 445, 2003.