

UFCG / BIBLIOTECA



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS
DE ESPÉCIES ARBÓREAS CULTIVADAS EM SOLO
SALINO-SÓDICO TRATADO COM CORRETIVOS**

FLAUBERT QUEIROGA DE SOUSA

DIGITALIZAÇÃO
SISTEMOTECA - UFCG

POMBAL – PB

2011

FLAUBERT QUEIROGA DE SOUSA

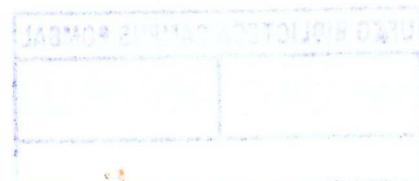
**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS
DE ESPÉCIES ARBÓREAS CULTIVADAS EM SOLO
SALINO-SÓDICO TRATADO COM CORRETIVOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo

Pombal - PB

2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/UFCG

S725c Sousa, Flaubert Queiroga de.

Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas cultivadas em solo salino-sódico tratado com corretivos / Flaubert Queiroga de Sousa – Pombal/PB: UFCG, 2011.

49f.

Monografia (Graduação em Agronomia) – UFCG/CCTA.
Orientador: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo

1. Degradação do solo. 2. Espécies nativas. 3. Salinidade do solo. 4. Correção do solo. Título.

UFCG/CCTA

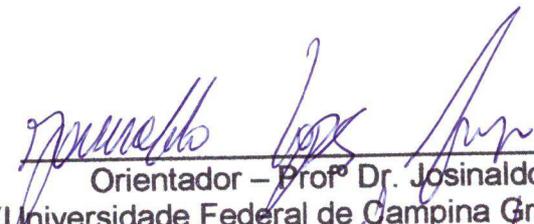
CDU 631.4(043)

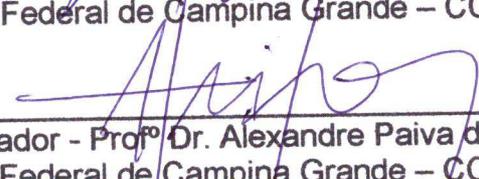
FLAUBERT QUEIROGA DE SOUSA

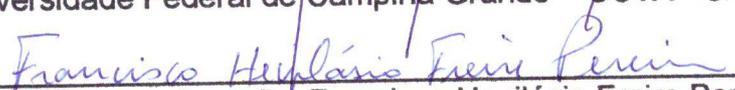
**CRESCIMENTO E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS
DE ESPÉCIES ARBÓREAS CULTIVADAS EM SOLO
SALINO-SÓDICO TRATADO COM CORRETIVOS**

Aprovada em: 30/06/2014

BANCA EXAMINADORA:


Orientador – Prof^o Dr. Josinaldo Lopes Araújo
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UAGRA)


Examinador - Prof^o Dr. Alexandre Paiva da Silva
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UACTA)


Examinador - Prof^o Dr. Francisco Hevilásio Freire Pereira
(Universidade Federal de Campina Grande – CCTA - UAGRA)

Pombal - PB

2011

DEDICATÓRIA

MÃE

*Pelo amor, compreensão, carinho,
caráter e educação cristã, que me
proporcionou durante todo esse
tempo. Mãe te amo!*

AGRADECIMENTOS

À DEUS, que é o único digno de louvor e adoração. Agradeço pela vida, proteção, orientação e pela permissão de realizar meu sonho de tornar-se Agrônomo.

Ao professor Josinaldo Lopes Araújo, pela orientação, estímulo, compreensão e todo ensinamento acadêmico que me proporcionou.

Ao professor Alan Cauê de Holanda, por toda aprendizagem e por toda amizade.

À Anderson Leite Fontes, pela amizade sincera, pelo esforço e pelos conhecimentos passados durante o estágio na secretária de Meio Ambiente da Prefeitura de João Pessoa.

À professora Patrícia Carneiro Souto, que sempre me encorajou para ir mais longe e pelos momentos que trabalhamos juntos.

Ao CNPq, pelo recurso financeiro indispensável para realização desse trabalho.

Aos professores e laboratoristas do CCTA/UFCG, Campus, PB, por toda ajuda e ensinamento.

Aos professores da FAP, agradeço pelo início do curso.

À IFPB, Campus Sousa, agradeço por permite a coleta do solo e por toda ajuda.

Ao técnico Iramirton e ao professor Everaldo Mariano Gomes, pela amizade e pela orientação durante o estágio.

Aos professores Alexandre Paiva da Silva e Francisco Hevilásio Freire Pereira, pela contribuição na correção do trabalho.

Ao meu pai Manoel, "in memoriam", pois sei que se estivesse vivo estaria muito feliz nesse momento tão importante. Pai te amo!

Aos meus irmãos, Donária, Manoel e Félix, por tudo que passamos juntos e pela ajuda que me deram durante todo esse tempo.

À minha noiva Eliane, companheira em todos os momentos. Agradeço pelo amor, carinho e pelo apoio e incentivo durante todo o curso.

À minha irmã e minha mãe pelas orações e contribuições.

À vó Socorro e a tia Fátima, pela ajuda durante o curso.

Aos meus amigos, em especial, Wallenstein, Dário, Marcelo e Eraldo, pela amizade, força e ajuda em todos os momentos que precisei durante o curso.

À tia Graça e tio Félix, pela hospedagem e por tudo que fizeram por mim durante o estágio.

A turma da Caatinga, Kauê, Félix, Manoel, Marcelo, Mizael e Saul, pelos conhecimentos que adquirimos e pelos momentos engraçados e difíceis que passamos juntos.

Aos colegas de curso, Matheus, Igor, Ronaldo, Junior, Sandro, Gustavo e Fransivaldo, pelos momentos difíceis e alegres que passamos juntos durante o curso.

A técnica Joyce, pela ajuda nas tarefas de laboratórios sempre com sorriso no rosto e com alegria.

À João do Pibic Jr, pelo companheirismo e ajuda na instalação e desenvolvimento do experimento.

Aos alunos voluntários, Geovani e Maria das Graças pela contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Aos terceirizados, Sebastião, Paka, Luis, Fátima e Luciene por toda ajuda e carinho.

E a todos os familiares, amigos, técnicos e professores da UFGM Campus Pombal, que contribuíram direta e indiretamente para esse trabalho.

OBRIGADO !

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Correlação entre os atributos percentagem de sódio trocável (PST), teores de sódio trocável (Na), condutividade elétrica medida na relação solo:água1:5(CE_{1:5})..... 17

Figura 2. Evolução do crescimento em altura das espécies vegetais em função dos tratamentos: solo corrigido com enxofre elementar (S + S°), com sulfato de cálcio (S + G), com ácido sulfúrico (S + A), sem corretivo (SSC) e solo não salino (NS)..... 19

Figura 3. Evolução do crescimento em diâmetro das espécies vegetais em função dos tratamentos: solo corrigido com enxofre elementar (S + S°), com sulfato de cálcio (S + G), com ácido sulfúrico (S + A), sem corretivo (SSC) e solo não salino (NS)..... 20

Figura 4. Crescimento relativo em altura (CRA) (a) e produção relativa de matéria seca da parte aérea (MSRPA) (b) e de raízes (MSRR) (c) em função dos tratamentos: solo sem corretivo (SSC), corrigido com ácido sulfúrico (S + A), corrigido com sulfato de cálcio (S + G) ou corrigido com enxofre elementar (S + S°) das espécies vegetais..... 21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos das amostras de solos antes da aplicação dos tratamentos.....	11
Tabela 2. Atributos químicos dos solos após a aplicação dos tratamentos.....	14
Tabela 3. Atributos químicos do extrato de saturação dos solos após a aplicação dos tratamentos.....	15
Tabela 4. Teores de sódio (Na), potássio (K) e relação Na/K na matéria seca da parte aérea das espécies vegetais em função dos tratamentos de correção do solo.....	23
Tabela 5. Variáveis fisiológicas das espécies vegetais arbóreas em função dos tratamentos de correção do solo.....	24
Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson, entre as variáveis percentagem de sódio trocável (PST), condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), teores solúveis de sódio no solo (Na-solo), teores de sódio na parte aérea (Na-Pa), matéria seca total (MST), relação sódio/potássio (Na/K) na parte aérea, concentração intercelular de CO ₂ (Ci), condutância estomática (gs) e taxa fotossintética (A).....	26

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Aspectos gerais sobre salinidade do solo.....	3
2.2 Efeito da salinidade sobre os atributos do solo e as plantas.....	5
2.3 Uso de corretivos na recuperação de solos salinizados.....	7
2.4 Utilização de espécies tolerantes à salinidade.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Local dos experimentos e caracterização dos solos.....	10
3.2 Experimento I - Efeito de corretivos na recuperação do solo salino sódico..	11
3.3 Experimento II - Avaliação da tolerância das espécies arbóreas.....	12
3.4 Análise estatística.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Experimento I - Efeito de corretivos na recuperação do solo salino-sódico..	14
4.2 Experimento II - Avaliação da tolerância das espécies arbóreas.....	18
4.2.1 Efeito dos corretivos sobre o crescimento e produção de matéria seca das plantas.....	18
4.2.2 Teores de sódio e potássio na parte aérea.....	22
4.2.3 Respostas fisiológicas das plantas.....	23
4.2.4 Correlação entre variáveis.....	25
5 CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
APÊNDICE.....	36

RESUMO

O excesso de sais e de sódio no solo ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas mais especificamente em perímetros irrigados. Nestas áreas as condições adversas do solo, provocam limitações à produção agrícola, causando impactos de ordem econômica, social e ambiental. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de corretivos sobre a recuperação de um solo salino-sódico e seu efeito sobre o crescimento e a fisiologia de espécies arbóreas nativas da Caatinga. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do CCTA/UFCG, Campus de Pombal-PB, no período de 23/10/09 a 10/03/10. No primeiro experimento os tratamentos foram constituídos pela aplicação de cinco corretivos ao solo (solo salino sem corretivo, solo salino + sulfato de cálcio, solo salino + ácido sulfúrico e solo salino + enxofre elementar e um solo não salino). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. No segundo experimento os tratamentos foram constituídos por quatro espécies arbóreas nativas da caatinga (*Anadenanthera macrocarpa* (Vell.) Brenan (angico), *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira)], *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) e cinco tratamentos referentes ao emprego de corretivos obtidos no experimento anterior. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4 x 5, com três repetições. A aplicação dos corretivos, especialmente de enxofre elementar, diminuiu a salinidade e a sodicidade do solo favorecendo o crescimento e a produção de matéria seca das plantas. O pau-ferro foi a que se mostrou mais tolerante ao excesso de sais e sódio. O excesso de sais e sódio no solo elevou os teores de sódio e a relação sódio/potássio na parte aérea das plantas e diminuiu a condutividade estomática e a concentração intercelular de CO₂ nos tecidos foliares.

Palavras-chave: degradação do solo, salinidade do solo, espécies nativas, correção do solo.

ABSTRACT

Soil salts and sodium excess occurs mainly in arid and semiarid of earth especially in irrigated areas. In these areas the adverse conditions of soil, causing limitation to agricultural production, impacting the economic, social and environmental. The study aimed to evaluate the effect of amendments on the ameliorate of a saline-sodic soil and their effect on growth and physiology response of native tree species. The experiment was carried out in the greenhouse of the CCTA / UFCG, in the period of 23/10/2009 to 10/03/2010. In the first experiment the treatments were a combination of five amendments of oil (soil without corrective saline, saline soil + calcium sulfate, sulfuric acid + saline soil and saline soil + elemental sulfur and a non-saline soil). The experimental design was completely randomized (CRD) with four replications. In the second experiment, the treatments consisted of four native tree species of the caatinga ([*Anadenanthera macrocarpa* (Vell.) Brenan (mimosa), (*Myracrodruon urundeuva*) (mastic), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Catingueira)], *Caesalpinia ferrea* (ironwood) and five treatments for the use of correction obtained in the previous experiment. the experimental design was completely randomized, with 4 x 5 factorial scheme with three replications. The application of corrective, especially elemental sulfur decreased salinity and sodicity in saline sodic soil favoring growth and dry matter production of plants. The *Caesalpinia ferrea* specie was the one that was more tolerant to excess salts and sodium. Excess salts and sodium in the soil increased the concentration of sodium and sodium/potassium ratio in the shoots and decreased stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in the leaves.

Key words: soil degradation, soil salinity, native species, soil correction.

1 INTRODUÇÃO

A salinização é um dos fenômenos crescentes em todo o mundo, onde causam perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos. Ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas, decorrente de condições climáticas e da agricultura irrigada (Junior & Silva, 2010). No Brasil os problemas com a salinização são evidenciados principalmente na região Nordeste ou mais especificamente nos perímetros irrigados, onde a prática da irrigação é indispensável devido à ocorrência de chuvas irregulares, altas temperaturas e altas taxas de evapotranspiração, principalmente em períodos de seca (Oliveira, 1997; Gomes et al., 2000), causando, assim, impactos ambientais e socioeconômico para as regiões afetadas (Melloni et al., 2000).

A salinidade provoca alterações químicas e físicas no solo, as quais afetam direta e indiretamente o comportamento das espécies vegetais cultivadas. No solo o acúmulo de Na^+ causa a dispersão de argilas e a degradação de sua estrutura, formando camadas impermeáveis que dificultam o movimento de água e ar no solo (Nobre et al., 2010). Sobre as plantas, a salinidade no solo exerce efeitos complexos, os quais vão depender do seu grau de tolerância às concentrações de sais. A sensibilidade à salinidade varia conforme a espécie, estágio fisiológico da planta e fatores ambientais (Barros et al., 2009). Plantas cultivadas em solos com excesso de sais e de sódio tem seu crescimento afetado, devido a redução do potencial osmótico da solução do solo, causando estresse hídrico, toxicidade de íons específicos e desordens nutricionais (Miranda et al., 2008; Alves et al., 2009).

A recuperação de solos com excesso de sais e sódio é primordial para minimização dos impactos ambientais e sociais. A recuperação desses solos tem por objetivo a redução da concentração dos sais solúveis e do sódio trocável no perfil do solo. Para isso, vários corretivos químicos podem ser utilizados, como gesso, enxofre, ácido sulfúrico e outros; entretanto, o gesso é o produto mais comumente usado em razão do seu baixo custo e abundância (Melo et al., 2008).

Para reduzir o efeito nocivo dos ambientes degradados por excesso de sais e sódios o emprego de espécies arbóreas mais tolerantes aos sais, pode ser uma alternativa viável quando associado aos corretivos químicos, e, ou, condicionadores orgânicos, práticas mecânicas e a lavagem do solo (Holanda et al., 1998). De acordo

com Silva et al. (2009), as espécies nativas são adaptadas às severas condições climáticas predominantes na região semiárida, podendo constituir uma importante alternativa para a recuperação e aproveitamento das áreas salinizadas ou em processos de salinização. Além disso, essas espécies são de uso múltiplo, apresentam sistemas radiculares profundos, aumentar a permeabilidade, porosidade do solo, auxiliar no abaixamento do lençol freático (Tertuliano & Santos, 1998; Holanda et al., 2007; Leite et al., 2010), e assim, contribuir para que essas áreas sejam reintegradas mais rapidamente a produção agrícola.

Em face do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de corretivos sobre a recuperação de um solo salino-sódico do semiárido Paraibano, e o efeito sobre o crescimento e a fisiologia de espécies arbóreas nativas do bioma Caatinga.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais sobre salinidade do solo

A salinidade do solo tem sido considerada um dos fatores de grande contribuição para a degradação dos solos, causando efeitos negativos sobre a produção agrícola e sobre a sustentabilidade de ecossistemas áridos e semiáridos (Qadir et al., 2007). Grande parte dessas áreas afetadas encontra-se em perímetros irrigados, onde estima-se que 20% das terras de tais áreas encontram-se processo de salinização e sodificação do solo, causando prejuízos anuais que chegam a mais de US\$ 12 bilhões (Ghassemi et al., 1995).

No Brasil os solos salinizados localizam-se na região Nordeste ou mais especificamente nos perímetros irrigados, enseridos nos polígonos das secas, que perfazem 57% da área total da região semiárida (Pereira et al., 1986; Gupta & Abrol, 1990; Ribeiro et al., 2003). Na Paraíba, áreas salinizadas encontram-se principalmente nos perímetros irrigados de Condado, Sumé, Capoeira e São Gonçalo, onde estima-se que mais de 40% dessas áreas encontram-se com algum problema de salinidade (Cordeiro et al., 1988).

A salinização do solo, pode ocorrer naturalmente ou ser causada pela ação antrópica, sendo que ambos os processos causam perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos, tornando inviáveis grandes extensões de terras cultivadas (Oliveira, 1997).

A formação de solos salinos de forma natural, pode-se dá pelo acúmulo dos sais solúveis liberados ou formados pela intemperização das rochas. De acordo com Miranda et al. (2008), entre os principais íons e cátions, responsáveis pela salinização, estão o potássio, magnésio, cálcio, sódio, cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato. Embora a principal fonte desses sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos onde esta fonte tenha provocado, diretamente, problemas de salinidade do solo (Richards, 1954).

A salinização do solo por ação antrópica, geralmente, está relacionada a prática de irrigação de forma incorreta, onde muitas vezes os elevados teores de

sais nas águas de irrigação, têm causado problemas de salinidade nos solos, associado também as condições climáticas do Nordeste que apresenta altas temperaturas e baixa pluviosidade (Dias et al., 2004). Condições inadequadas e, ou deficientes de drenagem também pode contribuir para o aumento das concentrações de sais na superfície dos solos (Junior & Silva, 2010).

Conforme o tipo de problema, os solos salinizados podem ser classificados como: salinos, salino-sódicos e sódicos. Os solos salinos correspondem a solos com elevado teor de sais de Na, K, Ca, Mg que se acumulam no perfil do solo (Ribeiro et al., 2003). Nestes solos a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) a 25°C é maior do que 4,0 dS m⁻¹, com uma percentagem de sódio trocável (PST) inferior que 15%, geralmente apresentam valores de pH menor que 8,5. Tais solos quase sempre são reconhecidos no campo pela presença de crostas brancas de sal em sua superfície. Em tais solos, o estabelecimento de um sistema de drenagem eficiente permite, através da lavagem, eliminar o excesso de sais na zona radicular da plantas (Richards, 1954). Nestes solos o aumento da força iônica da solução do solo pelo excesso de sais diminui a energia livre da água, dificultando sua absorção pelas plantas.

Solos salino-sódicos são aqueles que apresentam elevados teores de sais solúveis associados a elevados teores de sódio trocável. Esses solos apresentam CEes a 25°C maior que 4,0 dS m⁻¹, PST superior a 15% e pH raramente maior que 8,5. Nestes solos a simples lavagem não é suficiente para sua recuperação. Nesta condição, o excesso de sódio aliado ao seu elevado raio hidratado, promove dispersão de argilas, que podem ser iluviadas no perfil do solo, entupindo os poros, e promovendo a formação de camadas adensadas ou impermeáveis. Em geral sua recuperação requer o uso de corretivos químicos para a remoção do sódio trocável e melhorar a estruturação do solo antes de ser procedida a aplicação de uma lâmina de lixiviação (Gupta & Goi, 1992; Santos & Muraoka, 1997).

O solos sódicos são aqueles cuja PST é maior que 15%, com CEes a 25°C menor que 4,0 dS m⁻¹ e valores de pH que variam de 8,5 a 10,0. Nestes solos, a fração argila e a matéria orgânica encontram-se em geral dispersa, o que causa um escurecimento característico na superfície destes solos. A infiltração e a percolação da água é extremamente afetada, o que causa uma maior dificuldade na sua reabilitação/recuperação. Assim como nos solos salino-sódicos, sua recuperação

envolve o uso de corretivos químicos antes da aplicação de uma lâmina de lixiviação.

2.2 Efeito da salinidade sobre os atributos do solo e as plantas

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido principalmente à diminuição do potencial da água no solo e toxidez resultante da concentração salina e dos íons específicos tais como o sódio e o cloreto (Munns, 2002). De acordo com Ferreira et al. (2007) nos ambientes salinos o NaCl é, geralmente, o sal predominante e, conseqüentemente, aquele que causa maiores danos às plantas. Dessa forma, os solos degradados pela salinidade e sodicidade proporcionam impactos negativos tanto de caráter social, econômico e ambiental. A baixa produtividade das culturas, principalmente nos perímetros irrigados, é de ocorrência comum e o subsequente abandono das terras é uma prática rotineira.

Assim, a salinidade proporciona alterações químicas e físicas no solo, as quais em última instância refletem no comportamento das espécies vegetais nos quais são cultivadas. A fertilidade do solo é grandemente afetada pelas condições de salinidade. Os solos salinos apresentam elevados teores de ânions como cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonatos e boratos na solução solo os quais podem causar distúrbios nutricionais às plantas (Santos & Muraoka, 1997). Sob condições de sodicidade um agravante é o elevado pH (> 8,5), o qual origina toxidez de íons como o sódio e o cloro ou deficiências nutricionais, especialmente de micronutrientes catiônicos como o zinco, cobre, manganês, cobalto e ferro (Raij, 1991). Os íons Na⁺ em solos sódicos ou salino-sódicos promove o deslocamento dos cátions Mg²⁺, Ca²⁺ e K⁺, substituindo-os no complexo de troca, diminuindo sua disponibilidade para as plantas, e promovendo dispersão de argilas, uma vez que os cátions divalentes são substituídos por monovalentes promovendo o aumento da espessura da dupla camada difusa (McBride, 1995).

A salinidade exerce efeitos complexos sobre as plantas como o resultado das interações iônicas, osmótica e nutricional (Taiz & Zeiger, 2004), bem como alterações hormonais. O alto pH, o excesso de sais e de sódio trocável, as

propriedades físicas indesejáveis e a reduzida disponibilidade de nutrientes invariavelmente prejudicam o crescimento das culturas nesses solos, embora o efeito ocorra em diferentes intensidades conforme a tolerância das espécies vegetais. As principais alterações fisiológicas incluem redução na taxa de crescimento, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica das raízes, além de injúrias e abscisão foliar (Munns, 2002). Além disso, a salinidade promove alterações hormonais na planta, reduzindo a translocação de citocininas para as folhas e elevando o conteúdo de ácido absísico (Romero-Aranda, 1998). Ambas as alterações reduzem a abertura estomática, interferem nas trocas gasosas, na perda de água pelas folhas e, em última instância, na fotossíntese líquida (Taiz & Zeiger, 2004). Também a síntese de proteínas em folhas de plantas submetidas à salinidade pode decrescer devido ao déficit hídrico ou ao excesso de íons específicos. Os efeitos do NaCl sobre a síntese de proteínas podem ser devidos à toxicidade do cloro em espécies sensíveis, enquanto, que em espécies tolerantes, ao desbalanço da relação N/K (Parida et al., 2004).

Em geral, os maiores danos causados pelo estresse salino ocorrem durante a germinação, nos estádios iniciais de crescimento e na fase de frutificação (Romero-Aranda, 1998). Porém, muitas vezes, a planta pode não exibir nenhum sintoma de estresse salino e apenas a comparação com plantas normais pode revelar a magnitude de inibição causada pelo baixo potencial osmótico do meio ao qual a planta está submetida (Blanco, 1999). Contudo, o efeito mais comum da salinidade é sobre o crescimento devido a redução da área foliar, com conseqüente redução da fotossíntese. De acordo com Gomes et al. (2011), a diminuição da área foliar das plantas sob condições de estresse salino é um mecanismo importante para a redução das perdas de água pela planta. Entretanto, vale destacar que o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa o que ocorre diretamente na folha, atuando na formação de carboidratos, que são importantes na formação dos órgãos vegetativos e reprodutivos (Taiz & Zeiger, 2004).

2.3 Uso de corretivos na recuperação de solos salinizados

A minimização dos impactos ambientais e sociais proporcionados pelas áreas degradadas pelo excesso de sais em áreas irrigadas, passa necessariamente pela adoção de técnicas de recuperação. O emprego de corretivos químicos como o gesso, o ácido sulfúrico e o enxofre elementar em solos salino-sódicos tem sido largamente difundido na literatura (Pitman & Laüchili, 2002; Qadir et al., 2007). Quando empregados corretamente, tais corretivos têm se mostrado eficientes na melhoria das condições químicas e físicas do solo, pela remoção do excesso de sódio trocável, melhoria da estrutura do solo e estabelecimento de um pH mais apropriado para o adequado desenvolvimento das plantas (Tanji, 1990; Suarez, 2001).

Dentre os corretivos, o gesso tem sido o mais empregado, principalmente devido ao seu baixo custo em relação aos demais. O gesso agrícola é um subproduto da produção do ácido fosfórico, um insumo básico na produção dos diversos adubos fosfatados. Em relação ao calcário, apresenta alta solubilidade e sua ação corretiva é relativamente rápida. Seus efeitos positivos na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo tem sido verificados em diversos trabalhos (Vital et al., 2005; Zia et al., 2007; Stamford et al., 2007; Leite et al., 2007; Gill et al., 2008; Pazhanivelan et al., 2008; Melo et al., 2008; Leal et al., 2008). O modo de ação do gesso é bem conhecido. Após sua solubilização, são liberados os íons Ca^{+2} e SO_4^{-2} para a solução do solo. O cátion Ca^{+2} liberado, desloca o sódio do complexo de troca para a solução do solo, enquanto o ânion SO_4^{-2} reage com o Na^+ formando o $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ o qual, juntamente com uma lâmina de água de percolação, é removido da zona radicular das plantas. Além disso, a substituição de um íon monovalente (sódio) por um íon divalente (cálcio), tende a aumentar a flocculação do solo e, conseqüentemente, sua estruturação. O gesso agrícola, embora tenha reação neutra, alguns trabalhos têm mostrado que o mesmo é capaz de reduzir o pH de solos salinos alcalinos (Verma & Sharma, 2000; Duran et al., 2000; Gomes et al., 2000; Vital et al., 2005; Leite et al., 2007). Tal fato é atribuído à remoção do perfil dos solos, íons com caráter básico como o Na^+ , CO_3^{-2} e OH^- após a aplicação da água de lixiviação (Qadir et al., 1996).

O ácido sulfúrico tem sido outro corretivo empregado em solos salino-sódicos ou sódicos. Tem como vantagem sua alta eficiência em reduzir o pH dos solos para níveis mais apropriados para o desenvolvimento das plantas (Tertuliano & Santos, 1998; Amezketa et al., 2005; Zia et al., 2007) por proporcionar uma maior disponibilidade nutrientes e maior atividade microbiológica. Em solos alcalinos e calcários, sua utilização se torna ainda mais importante devido o mesmo aumentar a solubilização do calcário e, ou, do gesso nativo do solo e aumentar a liberação de íons Ca^{2+} o qual irá contribuir para a neutralização do sódio do solo (Vital et al., 2005). Como desvantagem, o ácido sulfúrico, é um corretivo de custo mais elevado que o gesso, além de necessitar de um maior cuidado no seu manuseio, devido ser um ácido extremamente forte com alto poder destrutivo quando concentrado. Dessa forma, esse produto é aplicado na forma de soluções diluídas (Tertuliano & Santos, 1998).

O enxofre elementar tem sido igualmente relatado na literatura pertinente como um importante corretivo de solos salinizados, principalmente aqueles afetados por excesso de sódio (Stamford et al., 2002; Stamford et al., 2007; Qadir et al., 2007, Mohamed et al., 2007). Seus efeitos são semelhantes aos proporcionados pelo ácido sulfúrico, uma vez que quando o produto é oxidado no solo por intermédio de bactérias *Thiobacillus thiooxidans* ocorre a produção do ácido sulfúrico cujo modo de ação no solo é idêntico ao ácido sulfúrico industrializado (Stamford et al., 2002).

2.4 Utilização de espécies tolerantes à salinidade

Além do uso de corretivos, a utilização de espécies tolerantes à salinidade é uma das medidas auxiliares na recuperação de solos degradados por excesso de sais e sódio. Assim, os efeitos dos corretivos na recuperação de solos salinizados, podem ser potencializados quando são empregadas espécies mais tolerantes as condições adversas de tais solos, em especial as espécies arbóreas (Qadir et al., 2007).

A tolerância à salinidade de plantas é a capacidade de se desenvolverem e completarem seu ciclo de vida sobre um substrato que contém elevada concentração de sais solúveis (Greenway & Munns, 1980). Contudo, esta tolerância

se manifesta sob diferentes formas e intensidades (Taiz & Zeiger, 2004). Plantas que podem tolerar elevadas quantidades de sais na rizosfera sem afetar seu crescimento são denominadas halófitas (Taiz & Zeiger, 2004). Plantas que não conseguem desenvolver-se sob condições de elevada salinidade são as glicófitas (Munns, 2002). A vantagem das halófitas sobre as glicófitas advém da melhor atuação em novos mecanismos de tolerância, que proporcionam estratégia mais eficiente em acumular e compartimentar íons e solutos.

As plantas ampliaram seus mecanismos bioquímicos e moleculares para tolerar o estresse salino através de produtos e processos alternativos. Estes mecanismos atuam em conjunto (Ivengar & Reddy, 1996). As estratégias bioquímicas utilizadas incluem acumulação ou exclusão seletiva de íons, controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas, compartimentalização de íons a nível celular (vacúolos) e estrutural (folhas), síntese de osmólitos, alterações nas vias fotossintéticas, modificações na estrutura da membrana, indução de enzimas antioxidantes e hormônios (Hasegawa, 2000).

Neste contexto, o uso de espécies vegetais tolerantes às condições de solos salinos pode contribuir para que essas áreas sejam reintegradas mais rapidamente a produção agrícola. As espécies arbóreas são importantes para recuperação dessas áreas por possuírem sistema radicular profundo, aumentando a permeabilidade do solo, a lixiviação dos sais e o abaixamento do lençol freático (Leite et al., 2010). Além do mais, geralmente são espécies de uso múltiplo, fixam o nitrogênio atmosférico e concentram grande quantidade de matéria orgânica no solo. Contudo, poucos trabalhos foram realizados com tais espécies, principalmente as arbóreas de ocorrência no bioma Caatinga (Tertuliano & Santos, 1998; Holanda e et al., 2007). Além disso, a vegetação nativa da região semiárida devido, à sua multiplicidade de uso, apresenta grande valor sócio-econômico para o homem, no tocante a alimentação humana e animal, medicina alternativa, produção de madeira visando o fornecimento de lenha, carvão e produtos industriais (fibras, óleos, resinas, ceras, tanino, madeira para diversas finalidades), além da preservação do solo, dos recursos hídricos e da fauna (Lima, 1989, citado por Silva et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local dos experimentos e caracterização dos solos

A pesquisa compreendeu atividades de campo e de laboratório. Foram instalados dois experimentos em casa de vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA), *Campus* de Pombal-PB.

Utilizaram-se amostras de um solo salino-sódico e de um solo não salino, ambos classificados como Neossolo Flúvico. As amostras foram obtidas aleatoriamente na profundidade de 0-40 cm, de um lote pertencente ao setor de fruticultura do IFPB, no Perímetro Irrigado de São Gonçalo, localizado a 10 km do município de Sousa-PB.

Após secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo do CCTA/UFCG para sua caracterização química e física (Tabela 1). Foram determinados o pH em CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, a condutividade elétrica no extrato de saturação (CEes) a 25°C , os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , H + Al, Na^+ , K^+ trocáveis e P disponíveis, de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (1997). Os teores de H + Al foram estimados pelo método da solução tamponada SMP (Embrapa, 1997). Os teores trocáveis de Ca^{+2} e Mg^{+2} foram obtidos por complexação com EDTA, enquanto os teores de Na^+ e K^+ foram determinados por fotometria de chama.

Os teores de fósforo foram determinados colorimetricamente pelo método do azul de molibdênio (Embrapa, 1997). A caracterização física constou da determinação dos teores de areia, silte e argila, densidade do solo e densidade de partículas e umidade do solo correspondentes às tensões de -0,01; -0,033 e -1,5 Mpa. A análise granulométrica, foi realizada pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando o cloreto de sódio como dispersante (Embrapa, 1997). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico e a densidade global do solo pelo método do cilindro.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos das amostras dos solos coletados antes da aplicação dos tratamentos.

Solo	Atributos químicos											
	pH (CaCl ₂)	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	V	PST	CEes
	mg kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³							-----%	dS m ⁻¹	
Salino-sódico	10,0	41	0,23	16,2	0,4	0,1	0,00	16,8	16,8	100	96	38,84
Não salino	6,1	26	0,38	0,09	2,0	0,4	0,99	2,9	3,9	74	2	0,83
	Atributos físicos											
	Areia	Silte	Argila	DS	Dp	Pt	AN	GF	0,01		Umidade	
	gkg ⁻¹			gcm ⁻³	gcm ⁻³	m ³ m ⁻³	gkg ⁻¹					
Salino-sódico	594	305	101	1,45	2,81	0,48	75	274	160		117	
Não salino	908	42	50	1,55	2,85	0,45	13	740	112		80	

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total; AN: argila natural; GF: grau de floculação.

3.2 Experimento I - Efeito de corretivos na recuperação do solo salino-sódico

Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de cinco corretivos ao solo (solo salino sem corretivo, solo salino + sulfato de cálcio, solo salino + ácido sulfúrico e solo salino + enxofre elementar e um solo não salino). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições.

Cada parcela foi constituída por um vaso de 5,0 dm³ de solo. A dose de sulfato de cálcio p.a, foi calculada como sugerido por Leite et al. (2007) usando a fórmula $NG = 0,86 Na^+x/pureza$ do sulfato de cálcio, em que: NG = necessidade de gesso em g kg⁻¹ de solo, Na⁺x = teor de sódio trocável em cmol_c dm⁻³. As doses de ácido sulfúrico e enxofre elementar foram calculadas com base na dose de sulfato de cálcio recomendada (11,76 g dm⁻³), objetivando fornecer a mesma quantidade de enxofre fornecida pelo sulfato de cálcio. O ácido depois de diluído em água destilada foi incorporado ao volume de solo contido nos vasos. Após a aplicação dos corretivos, os solos foram incubados pelo período de 20 dias com umidade correspondente a 70% da capacidade de campo.

A fase seguinte correspondeu à aplicação de uma lâmina de lixiviação, aplicando-se um volume de água (CEa = 0,15 dSm⁻¹) equivalente a duas vezes a porosidade total do solo. Após a lavagem, foi realizada uma amostragem de quatro

repetições, para uma nova análise de solo para fins de fertilidade, conforme os procedimentos descritos em Embrapa (1997). Para a caracterização da salinidade do solo, foram estimados no extrato de saturação a CE (condutividade elétrica), teores solúveis de Na^+ e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e a PST (percentagem de sódio trocável) e RAS (relação de adsorção de sódio) conforme procedimentos descritos em Richards (1954). Os valores da PST e da RAS foram estimados pelas Eqs. 1 e 2 conforme Richards (1954):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (1)$$

$$PST = \frac{100(0,01475RAS - 0,0126)}{1 + (0,01475RAS - 0,0126)} \quad (2)$$

Em que: Na, Ca e Mg são os teores solúveis em mmol L^{-1} desses íons.

3.3 Experimento II - Avaliação da tolerância das espécies arbóreas

No segundo experimento os tratamentos foram constituídos por quatro espécies arbóreas nativas da caatinga ([*Anadenanthera macrocarpa* (Vell.) Brenan (angico), (*Myracrodruon urundeuva*) (aroeira), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira)], *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro) e cinco tratamentos referentes ao emprego de corretivos obtidos no experimento anterior. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4 x 5, com três repetições, totalizando 60 unidades experimentais.

As sementes das espécies foram semeadas em tubetes de 300 mL preenchidos com substrato composto por solo de barranco, areia e esterco bovino, na proporção de um terço de cada componente. Após atingirem cerca de 15 cm de altura, as plântulas foram selecionadas pela uniformidade e transferidas para os vasos com os solos já "lavados", contendo os respectivos tratamentos. Nesta ocasião, para fins de cálculo do crescimento das plantas, foram tomadas os valores de altura e diâmetro de cada planta no tempo zero. Antes do transplante e após a lavagem do solo em todos os vasos, foi realizada uma adubação básica com nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e micronutrientes conforme Malavolta (1980).

Os macronutrientes foram fornecidos na forma sólida ou de solução utilizando-se reagente p.a, homogeneizando-o a todo o volume de solo. A adubação com micronutrientes consistiu na pulverização manual das plântulas com uma solução de micronutrientes contendo cobre, manganês, ferro e zinco, na forma de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cloreto de manganês ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), usando fonte p.a. O fornecimento de micronutrientes via foliar foi realizado em duas etapas, sendo a primeira logo após o transplântio e a segunda, trinta dias após.

Durante os 75 dias após o transplântio, foram realizadas medições quinzenais da altura e diâmetro da planta. Após este período, foram avaliadas nas plantas, por meio de método não destrutivo, as taxas de transpiração, concentração intercelular de CO_2 , taxa fotossintética e condutância estomática utilizando o analisador de gás infravermelho – IRGA (*Infra-red Gas Analyzer*). Posteriormente, as partes aéreas das plantas foram separadas das raízes, as quais foram secas em estufa a 65- 70 °C para a obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSR). Na MSPA foram determinados os teores sódio e potássio conforme procedimentos descritos em Malavolta et al. (1997). De posse dos valores de crescimento em altura de planta, MSPA e MSR, foram estimados o crescimento relativo em altura e a produção relativa de MSPA e MSR das espécies dividindo-se os valores destas variáveis obtidos no solo salino (com ou sem corretivo) por aqueles obtidos no solo não salino e multiplicando-se os resultados por 100.

3.4 Análise estatística

Em ambos os experimentos os dados foram submetidos a análise de variância, teste (Tukey) ao nível de 5% de significância utilizando o *software* SISVAR 4.0 e análise de correlação linear simples de Pearson entre variáveis utilizando-se o *software* SAEG 9.0 ao nível de 5% de significância. Para o crescimento em altura e diâmetro em função dos períodos de avaliação, realizou-se apenas uma estatística descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I – Efeito dos corretivos na recuperação do solo salino-sódico

Todos os atributos químicos dos solos foram afetados pelos tratamentos de correção do solo. A aplicação dos corretivos proporcionou no solo salino-sódico, decréscimos nos valores de pH, da $CE_{1:5}$ (condutividade elétrica obtido na proporção solo:água 1:5), nos teores de Na^+ trocável e na PST (Tabela 2). Contudo, os valores destas variáveis obtidas no solo salino-sódico com ou sem corretivos se mantiveram ainda superiores ao solo não salino (Tabela 2). Por outro lado, a aplicação dos corretivos ao solo salino-sódico elevou os teores trocáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} inclusive superando os teores obtidos no solo não salino. Os teores trocáveis de K^+ , não foram alterados pela aplicação dos corretivos ao solo salino, embora tenham sido inferiores para o solo não salino. Entre os corretivos, o sulfato de cálcio foi o que mais reduziu a PST, enquanto o ácido sulfúrico e o enxofre elementar, ambos de reação ácida, foram os que mais reduziram os valores de pH do solo. Observa-se ainda que o sulfato de cálcio embora de reação neutra também diminuiu o pH do solo salino-sódico (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos dos solos após a aplicação dos tratamentos.

Tratamento	pH _{CaCl2}	CE _{1:5} dSm ⁻¹	K ⁺	cmol _c dm ⁻³			PST %
				Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Salino sem corretivo	10,2 a	1,78 a	0,15 b	12,57 a	0,40 d	0,30 d	93,6 a
Salino + CaSO ₄ ·2H ₂ O	8,7 b	0,72 b	0,15 b	5,57 b	7,12 a	0,95 c	40,4 c
Salino + enxofre	8,2 c	0,61b	0,16 b	5,90 b	4,11 b	1,56 b	49,5 b
Salino + H ₂ SO ₄	7,9 c	0,96 b	0,17 b	6,70 b	6,15 a	2,80 a	42,4 bc
Não salino	6,7 d	0,08 c	0,24 a	0,15 c	2,83 c	1,04 bc	3,5 d
CV (%)	2,3	21,6	7,1	11,9	11,4	19,6	7,8

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os atributos químicos dos solos obtidos do extrato de saturação mostram comportamento semelhante aos obtidos nas análises do complexo sortivo (Tabela 2) em função dos tratamentos. Verificou-se redução substancial dos valores de CEes, teores solúveis de Na⁺, PST e RAS no solo salino-sódico com a aplicação dos corretivos (Tabela 3), embora quando comparado com o solo não salino, seus valores permaneceram ainda muito superiores. Por outro lado, a aplicação de sulfato de cálcio ou ácido sulfúrico ao solo salino-sódico promoveu acréscimos nos teores solúveis de Ca²⁺ + Mg²⁺ (Tabela 3) em relação aos demais tratamentos, como ocorrido com os teores trocáveis destes cátions (Tabela 2). Entre os tratamentos envolvendo solo salino-sódico destacaram-se na redução da salinidade (CEes) e da sodicidade (Na⁺, PST e RAS) do extrato de saturação, o enxofre elementar e o ácido sulfúrico (Tabela 3).

A aplicação dos corretivos ao solo salino-sódico melhorou consideravelmente os atributos químicos do solo. Contudo, os valores obtidos para as variáveis que expressam a salinidade e a sodicidade do solo (CEes, pH e PST), ainda permaneceram elevados em relação ao solo não salino e em relação aos valores de referência apresentados por Richards (1954) que considera um solo salino-sódico aquele que apresenta no extrato de saturação CEes > 4,0 dSm⁻¹ e PST superior a 15%. Tais valores são capazes de proporcionar decréscimos no crescimento e na produtividade da maioria das culturas. Contudo, há grande variação na tolerância à salinidade e sodicidade entre as espécies vegetais, o que permite selecionar espécies mais adequadas para determinado nível de salinidade e, ou sodicidade (Qadir et al., 2007).

Tabela 3. Atributos químicos do extrato de saturação dos solos após a aplicação dos tratamentos.

Tratamento	CE _{es}	Na	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	PST	RAS
	dSm ⁻¹	mmol _c L ⁻¹		%	(mmol _c L ⁻¹) ^{-0,5}
Salino sem corretivo	26,47 a	241,01 a	2,00 c	69,62 a	277,34 a
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	14,14 b	136,08 b	7,31b	54,98 ab	73,32 b
Salino + enxofre	15,90 b	84,52 c	13,94 a	34,16 c	36,04 c
Salino + H ₂ SO ₄	9,41 c	132,86 b	16,5 a	40,6 bc	47,55 c
Não salino	1,11 d	1,56 d	2,67 c	0,78 d	1,39 d
CV (%)	17,0	10,3	24,6	19,2	12,5

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A diminuição dos valores de pH, $CE_{1.5}$, dos teores trocáveis de Na pela aplicação do sulfato de cálcio é decorrente principalmente do deslocamento do sódio do complexo de troca pelo cálcio liberado pelo corretivo (Vital et al., 2005). Neste processo, o sódio é deslocado para a solução do solo para reagir com o ânion sulfato, formando sulfato de sódio o qual é removido após a aplicação de uma lâmina de água. Assim, o sulfato favoreceu a lixiviação de sódio e íons HCO_3^- contribuindo para a diminuição do pH do solo (Vital et al., 2005; Leite et al., 2007).

Quanto ao enxofre, seu efeito no abaixamento do pH do solo salino, deve-se provavelmente, a sua oxidação biológica, a qual gera ácido sulfúrico no solo (Stamford et al., 2002). A diminuição do pH do solo pela aplicação de ácido sulfúrico já era esperada, entretanto, observou-se também um aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} pela aplicação do corretivo, assim como ocorreu com a aplicação do enxofre elementar. Tal fato deve-se, provavelmente, a ação dos íons H^+ gerados por ambos os corretivos, na solubilização de minerais primários do solo contendo tais cátions (Amezqueta et al., 2005). Tanto o enxofre quanto o ácido sulfúrico liberam íons sulfatos no solo, os quais reagem com o sódio na solução do solo, para removê-lo do complexo de troca, o que também contribui para o abaixamento do pH do solo.

Os efeitos benéficos da diminuição do teor do sódio trocável solo é melhor visualizado na Figura 1, onde se observa correlação negativa entre o teor deste elemento no solo com o pH do solo (Figura 1^a) e com os teores de K trocáveis (Figura 1b) e positiva com a PST (Figura 1c). Da mesma forma, observa-se relação direta positiva entre a condutividade elétrica e o pH do solo (Figura 1d). Em parte, estas relações já seriam esperadas, uma vez que o sódio em excesso no solo hidrolisa-se provocando elevação do pH do solo (McBride, 1995). A relação positiva entre a CE e o pH, certamente é devido a presença de NaCl como sal dominante neste solo. Por sua vez, a relação inversa observada entre os teores de Na e K, ocorre devido ao deslocamento do segundo pelo primeiro do complexo de troca do solo (Mohamed et al., 2007).

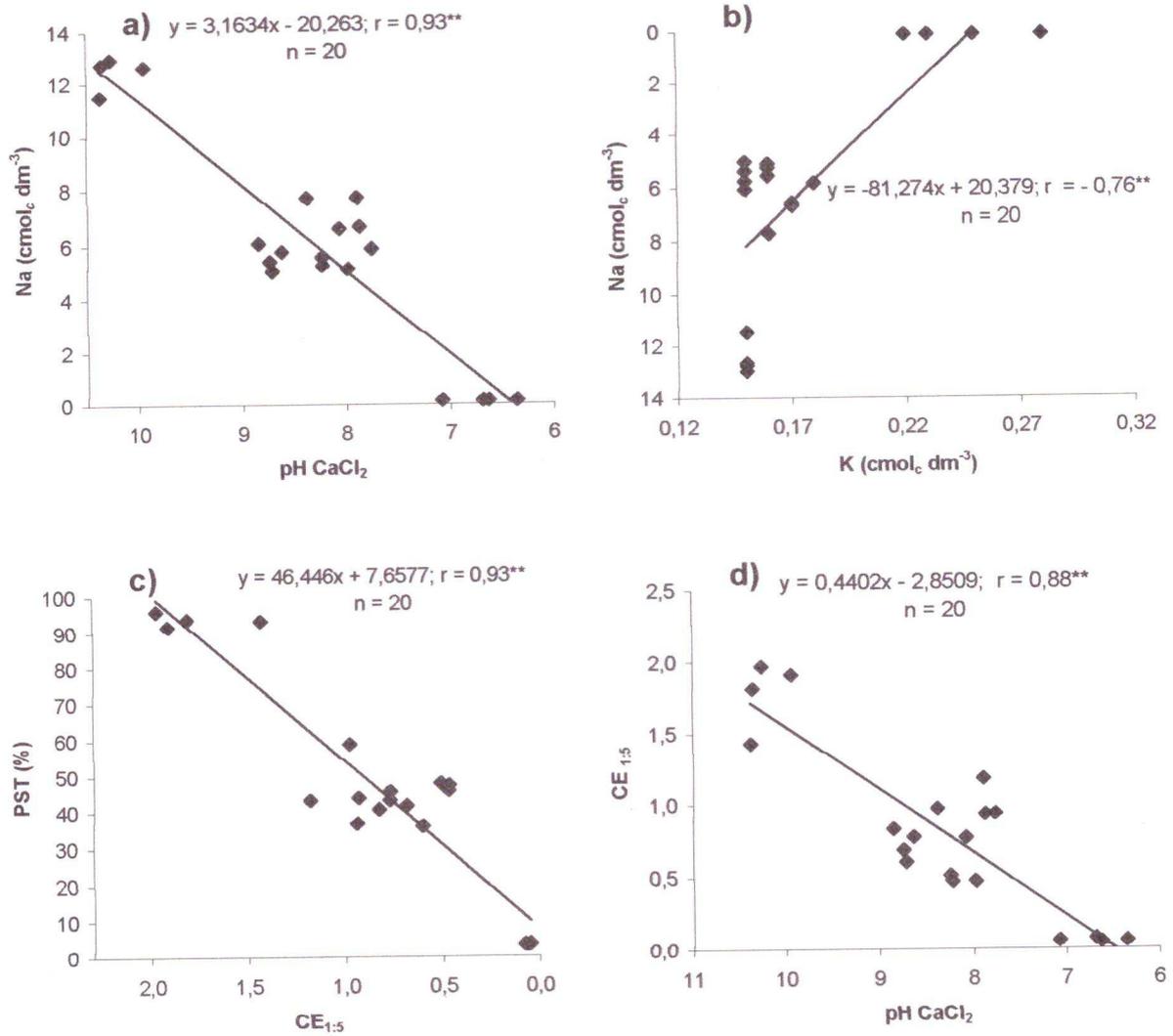


Figura 1. Relação entre os atributos percentagem de sódio trocável (PST), teores de sódio trocável (Na) e condutividade elétrica medida na relação solo:água 1:5 (CE_{1:5}).

4.2 Experimento II – Avaliação da tolerância das espécies arbóreas

4.2.1 Efeito dos corretivos sobre o crescimento e produção de matéria seca das plantas

A evolução do crescimento em altura e diâmetro das plantas variou conforme a espécie vegetal e os tratamentos de correção do solo (Figura 2 e 3). A espécie pau-ferro foi a que atingiu os maiores valores para estas variáveis após 75 dias do transplântio. Como já esperado, à exceção da espécie pau-ferro, em todas as épocas, as plantas obtiveram maior crescimento em altura e diâmetro, quando cultivadas no solo não salino. Por outro lado, quando cultivadas em solo salino sem corretivo, as plantas praticamente tiveram seu crescimento paralisado.

Entre os tratamentos envolvendo corretivos, verificou-se que para o angico, o enxofre elementar foi o corretivo que proporcionou o maior crescimento em altura e diâmetro, cujos valores se aproximaram nos primeiros 30 dias após o transplântio (DAT), aos obtidos no solo não salino. Para a espécie aroeira, o enxofre elementar e o sulfato de cálcio superaram o corretivo ácido sulfúrico em relação à estas variáveis (Figura 2 e 3). Para catingueira, foi observada pequena diferença entre os corretivos no crescimento ao longo do tempo, principalmente para o crescimento em diâmetro, cujos valores a partir dos 45 DAT mantiveram-se praticamente inalterados (Figura 3). A espécie pau-ferro, assim como ocorreu para a aroeira, teve seu maior crescimento em altura e diâmetro com o enxofre elementar e com o sulfato de cálcio, embora os três corretivos até os 30 DAT, tenham proporcionado crescimento em altura semelhante para esta espécie.

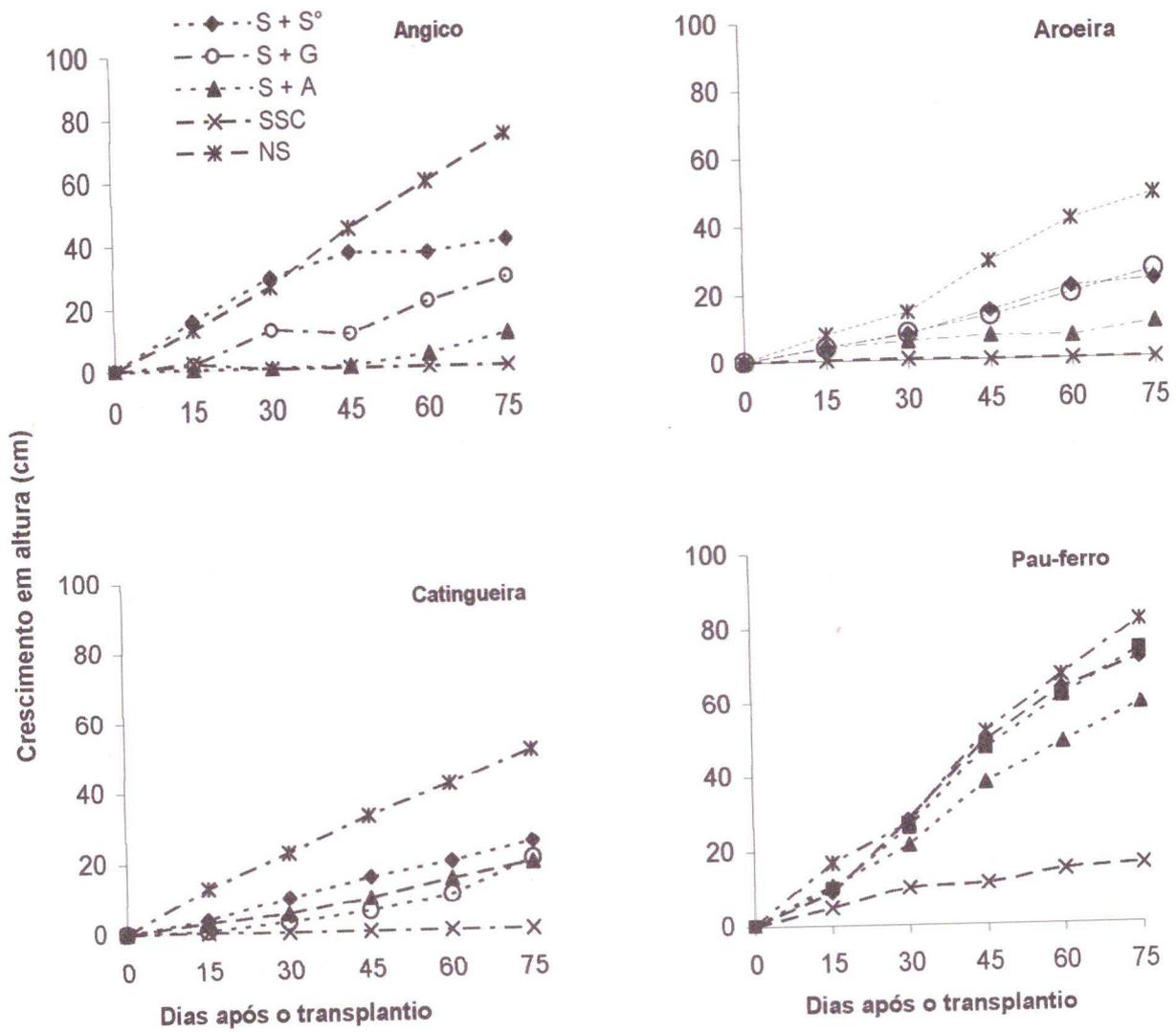


Figura 2. Evolução do crescimento em altura das espécies vegetais em função dos tratamentos: solo corrigido com enxofre elementar (S + S°), sulfato de cálcio (S + G), ácido sulfúrico (S + A), sem corretivo (SSC) e solo não salino (NS).

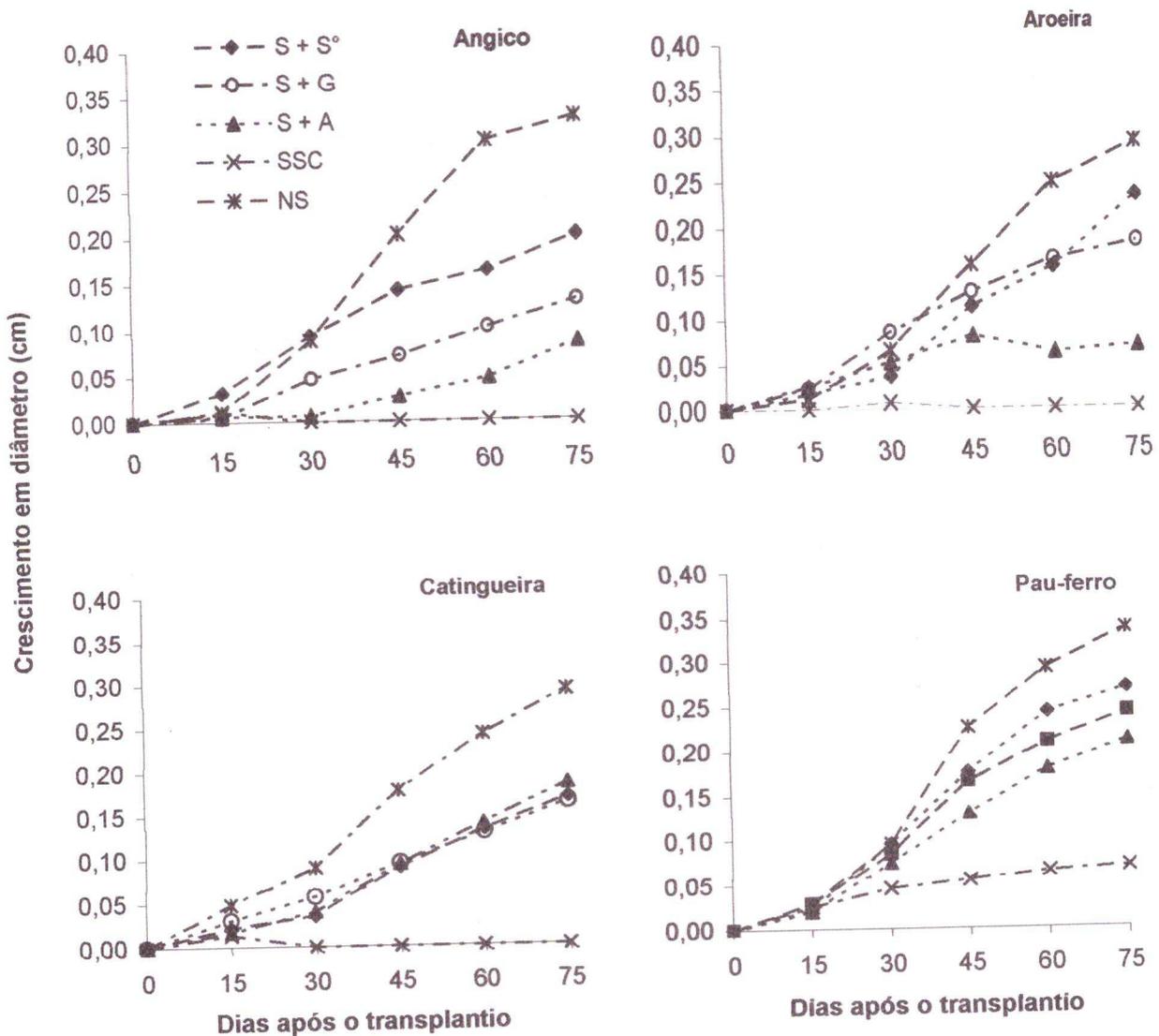


Figura 3. Evolução do crescimento em diâmetro das espécies vegetais em função dos tratamentos: solo corrigido enxofre elementar (S + S°), sulfato de cálcio (S + G), ácido sulfúrico (S + A), sem corretivo (SSC) e solo não salino (NS).

O crescimento relativo em altura (CRA), a produção relativa de matéria seca da parte aérea (MSRPA) e de raízes (MSRR) das plantas após 75 dias do transplântio, que expressam a porcentagem do crescimento das plantas no solo salino em relação ao solo não salino, foram influenciados pela espécie vegetal, correção do solo e pela interação entre os fatores (Figura 4). Em geral, os maiores valores destas variáveis foram obtidos com o uso do corretivo enxofre elementar, embora pequena diferença tenha sido observada entre este e o sulfato de cálcio.

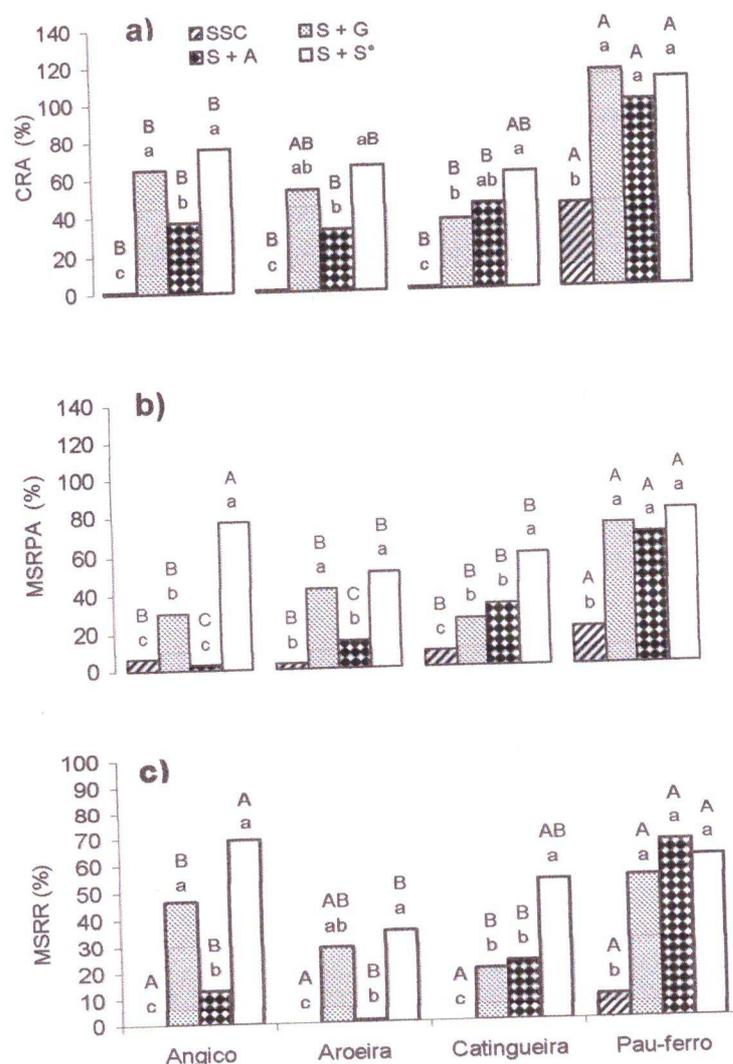


Figura 4. Crescimento relativo em altura (CRA) (a) e produção relativa de matéria seca da parte aérea (MSRPA) (b) e de raízes (MSRR) (c) das espécies vegetais em função dos tratamentos: solo sem corretivo (SSC), ácido sulfúrico (S + A), sulfato de cálcio (S + G) enxofre elementar (S + S°). Médias seguidas de letras iguais, minúsculas comparando os tratamentos de correção do solo e maiúsculas comparando as espécies vegetais para uma mesma variável, não diferem entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se as espécies vegetais, verificou-se que o pau-ferro apresentou os maiores valores de CRA, MSRPA e MSRR em todos os tratamentos de correção do solo (Figura 4). Com a aplicação de ácido sulfúrico, sulfato de cálcio ou enxofre elementar, o pau-ferro apresentou CRA (Figura 4^a) e MSRPA (Figura 4^b) sempre superior a 100 e 70%, respectivamente, indicando, conforme Fageria (1985) se tratar de uma espécie medianamente tolerante à salinidade do solo. As demais espécies, com exceção do angico no tratamento com enxofre elementar, seriam consideradas sensíveis à salinidade. Em condições de solo salinizado não foram encontrados

referências sobre a tolerância das espécies avaliadas no presente trabalho. Contudo, recentemente Freitas et al. (2010) observaram que na fase de germinação da espécie pau-ferro, o vigor das plantas e germinação avaliadas com solução salina de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram valores acima de 50% em relação às sementes germinadas com solução não salina, indicando uma tolerância média da espécie.

Como observado, o crescimento e a produção de matéria seca das plantas no solo degradado sem corretivos foi baixa. Os efeitos da salinidade e sodicidade sobre as plantas já estão bem documentados. A redução do crescimento ocorre principalmente devido a toxidez de íons específicos como o sódio e pelo baixo potencial osmótico da solução do solo, que causa estresse hídrico (Munns, 2002; Taiz & Zeiger, 2004). A aplicação de enxofre elementar ou sulfato de cálcio ao solo, entretanto, favoreceu o crescimento e a produção de matéria seca das espécies vegetais avaliadas. Este fato provavelmente se deve ao estabelecimento de melhores condições químicas no solo por estes corretivos, principalmente pela diminuição dos teores de sódio trocável, da condutividade elétrica e da PST (Stamford et al., 2002; Amezketa et al., 2005; Vital et al., 2005; Qadir et al., 2007), como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3.

4.2.2 Teores de sódio e potássio na parte aérea

Os teores de sódio, potássio e a relação sódio/potássio, foram influenciadas pelas espécies vegetais, pelos tratamentos de correção do solo e pela interação entre estes fatores. Os teores de sódio na parte aérea das plantas foram inferiores quando estas foram cultivadas no solo não salino (Tabela 4), o que reflete os baixos teores de sódio no solo.

Em relação aos corretivos, o comportamento variou conforme a espécie vegetal, tendo a aroeira apresentado o menor teor de sódio na parte aérea com a aplicação de enxofre no solo, sendo que para as demais espécies, pequena diferença entre os tratamentos com corretivos foi observada. Entre as espécies vegetais, observou-se que em geral, o pau-ferro apresentou os menores teores de sódio na parte aérea, principalmente com ácido sulfúrico ou sulfato de cálcio (Tabela 4). Com relação aos teores de potássio, para as espécies aroeira e catingueira, os

maiores valores foram observados no tratamento solo não salino, enquanto nas outras espécies, houve pouca variação entre os tratamentos de correção do solo. Comparando-se as espécies, a aroeira obteve os maiores teores de potássio na parte aérea, em todos os tratamentos de correção do solo. As mais baixas relações sódio/potássio foram observadas no tratamento com solo não salino para todas as espécies vegetais. Entre as espécies vegetais, o pau-ferro apresentou a mais baixa relação sódio/potássio nos tratamentos com sulfato de cálcio ou ácido sulfúrico.

Tabela 4. Teores de sódio (Na), potássio (K) e relação Na/K na matéria seca da parte aérea das espécies vegetais em função dos tratamentos de correção do solo.

Correção do solo	Espécie vegetal			
	Angico	Aroeira	Catingueira	Pau-ferro
		Na (g kg ⁻¹)		
Salino sem corretivo	nd ¹	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	2,75 a B	12,04 a A	5,16 a B	2,25 ab C
Salino + H ₂ SO ₄	2,26 a B	6,61 b A	5,64 a A	1,57 ab B
Salino + enxofre	2,02 a B	2,99 c B	6,13 a A	3,23 a B
Solo não salino	1,53 b A	1,31d A	2,02 b A	0,92 b A
CV (%)	33,9			
		K (g kg ⁻¹)		
Salino sem corretivo	nd ¹	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	8,67 a B	21,24 b A	9,47 b B	12,56 ab B
Salino + H ₂ SO ₄	8,53 a B	18,54 b A	8,44 b B	9,66 b B
Salino + enxofre	10,40 a BC	19,77 b A	9,96 b C	14,71 a B
Solo não salino	10,89 a C	25,65 a A	17,80 a B	11,53 ab C
CV (%)	15,2			
		Na/K (g kg ⁻¹)		
Salino sem corretivo	nd ¹	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	3,22 b AB	5,67 a A	5,51 a A	1,79 a B
Salino + H ₂ SO ₄	2,65 a B	3,54 ab B	6,76 a A	1,63 a B
Salino + enxofre	1,97 a B	1,61 a B	6,41 a A	2,17 a B
Solo não salino	1,42 a B	0,52 c A	1,14 b A	0,08 b A
CV (%)	42,9			

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna comparando os tratamentos de correção do solo e maiúsculas na linha comparando as espécies vegetais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ¹Não houve produção de matéria seca suficiente para análise.

4.2.3 Respostas fisiológicas das plantas

As variáveis fisiológicas avaliadas foram influenciadas pelas espécies vegetais, pelos tratamentos de correção do solo e pela interação entre estes fatores. Para as espécies aroeira e pau-ferro, o enxofre aplicado ao solo salino-sódico

proporcionou valores para a concentração intercelular de CO₂, condutância estomática e taxa fotossintética, semelhante ou superior ao solo não salino (Tabela 5). Para as demais espécies, esta variável não foi alterada pelos tratamentos envolvendo corretivos. Da mesma forma, a taxa de transpiração foi pouco afetada pelos tratamentos, sendo que em geral, as maiores variações foram obtidas entre as espécies vegetais. Assim, os menores valores para esta variável foram obtidos para a aroeira no solo salino-sódico com sulfato de cálcio e enxofre elementar.

Tabela 5. Variáveis fisiológicas das espécies vegetais arbóreas em função dos tratamentos de correção do solo.

Correção do solo	Espécies vegetais			
	Angico	Aroeira	Catingueira	Pau-ferro
	Concentração intercelular de CO ₂ (mg L ⁻¹)			
Salino sem corretivo	nd ¹	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	240,2 a AB	211,7 c B	249,0 a A	221,0 b AB
Salino + enxofre	261,5 a B	309,5 a A	244,5 a B	256,7 a B
Salino + H ₂ SO ₄	237,7 a BC	273,7 b A	257,0 a AB	221,2 b C
Não salino	239,0 a B	245,2 bc AB	275,7 a A	258,0 a AB
CV (%)	7,3			
	Transpiração (mmol m ⁻² s ⁻¹)			
Salino sem corretivo	nd	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	2,93 a A	1,95 bc B	2,94 a A	2,70 a A
Salino + enxofre	2,67 a A	1,61 c B	2,79 a A	2,60 a A
Salino + H ₂ SO ₄	3,08 a AB	2,67 a B	3,47 a A	2,68 a B
Não salino	2,61 a A	2,58 ab A	3,12 a A	2,59 a A
CV (%)	13,4			
	Condutância estomática (mol m ⁻² s ⁻¹)			
Salino sem corretivo	nd	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	0,20 ab A	0,10 b B	0,20 c A	0,15 b AB
Salino + enxofre	0,22 a A	0,10 b B	0,23 bc A	0,26 a A
Salino + H ₂ SO ₄	0,22 a A	0,13 ab B	0,28 ab A	0,14 b B
Não salino	0,14 b B	0,18 a B	0,31 a A	0,20 b B
CV (%)	18,1			
	Fotossíntese líquida (µmol m ⁻² s ⁻¹)			
Salino sem corretivo	nd	nd	nd	nd
Salino + CaSO ₄ 2H ₂ O	10,39 a A	7,70 b B	10,04 b A	9,76 b A
Salino + enxofre	10,83 a A	3,25 c B	12,11 a A	12,24 a A
Salino + H ₂ SO ₄	11,74 a A	5,07 c C	11,48 ab A	9,13 b B
Não salino	8,23 b B	10,42 a A	10,73 ab A	9,72 b AB
CV (%)	10,1			

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna comparando os tratamentos de correção do solo e maiúsculas na linha comparando as espécies vegetais, não diferem entre si no teste Tukey a 5% de probabilidade. ¹Não houve disponibilidade de material vegetal para as avaliações.

Entre os corretivos observou-se diferença apenas para a espécie aroeira. A condutância estomática apresentou maior variação entre as espécies vegetais, sendo os menores valores em geral, observados para a aroeira e pau-ferro. Com

relação à taxa fotossintética líquida, o comportamento foi similar às demais variáveis fisiológicas avaliadas (Tabela 5). Entre as espécies vegetais, os menores valores foram obtidos para a aroeira nos tratamentos com solo salino-sódico com corretivos.

Como observado, houve uma relação bem definida entre os tratamentos de correção do solo com as variáveis fisiológicas avaliadas, embora estes tenham estabelecidos níveis de salinidade e sodicidade variáveis no solo após sua lavagem. A impossibilidade da avaliação das plantas cultivadas no solo salino-sódico sem corretivo, pode ter contribuído para esta indefinição. Assim, os efeitos dos tratamentos sobre as diversas variáveis avaliadas nas plantas podem ser mais bem verificados pelo estudo de correlações simples entre variáveis.

4.2.4 Correlação entre variáveis

Como pode ser observado pelo estudo de correlação (Tabela 6), a diminuição do crescimento e da produção de matéria seca das espécies vegetais nos tratamentos envolvendo solo salino-sódico em relação ao solo não salino, deve-se, provavelmente, ao estresse salino e ao acúmulo excessivo de sódio na parte aérea das plantas. A produção de matéria seca total (MST) de todas as espécies vegetais correlacionou-se negativamente com o excesso de sais (CEes) e de sódio (Na-solo) no solo, com o teor de sódio na parte aérea (Na-Pa) e com a relação sódio/potássio nestes tecidos. Resultados semelhantes a estes foram obtidos em outros trabalhos (Miranda et al., 2002; Ferreira et al., 2005). Além do efeito tóxico direto do sódio, interferindo no metabolismo vegetal (Taiz & Zeiger, 2004), seu efeito negativo também se expressa pela inibição competitiva com íons como o cálcio, magnésio e potássio, diminuindo sua absorção, principalmente deste último (Taiz & Zeiger, 2004).

As variáveis que expressam a salinidade (CE) e sodicidade (PST e Na-solo) assim como os teores de sódio e a relação sódio/potássio, a exceção da espécie angico, em geral, correlacionaram negativamente com as variáveis fisiológicas, principalmente com a concentração intercelular de CO₂ e com a condutância estomática (Tabela 6). Estes resultados estão de acordo com os obtidos em vários trabalhos (Parida et al., 2004; Lima et al., 2007; Warren, 2008). Isso ocorre porque o

estresse salino provoca diminuição do potencial de turgescência dos tecidos foliares (Taiz & Zeiger, 2004), provocando o fechamento dos estômatos, aumento da resistência á difusão do CO₂ e diminuição da taxa fotossintética (Romero-Aranda et al., 1998; Chaves et al., 2009).

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson (n = 15), entre as variáveis percentagem de sódio trocável (PST), condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{ES}), teores solúveis de sódio no solo (Na-solo), teores de sódio na parte aérea (Na-Pa), matéria seca total (MST), relação sódio/potássio (Na/K) na parte aérea, concentração intercelular de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs) e taxa fotossintética (A).

Variáveis	Na/K	Na-Pa	MST	Ci	gs	A
Angico						
PST	0,86*	0,92*	-0,85	0,06ns	0,81*	0,78*
CE _{ES}	0,89*	0,87**	-0,50*	0,60*	0,86*	0,71*
Na-solo	0,92*	0,91*	-0,58*	0,49ns	0,85*	0,72*
Na/K	-	0,99**	-0,48*	0,34ns	0,60*	0,46ns*
Na-Pa	-	-	-0,60*	0,21ns	0,63*	0,53*
MST	-	-	-	0,30ns	-0,73*	-0,84*
Aroeira						
PST	0,90**	0,87*	-0,85*	-0,14ns	-0,89*	-0,53*
CE _{ES}	0,55*	0,51*	-0,65*	0,26ns	-0,99**	-0,78*
Na-solo	-0,65*	0,62*	-0,70*	0,14ns	-0,99**	-0,71*
Na/K	-	0,99**	-0,68*	-0,54*	-0,64*	-0,13ns
Na-Pa	-	-	-0,60*	-0,61*	-0,61*	-0,0ns
MST	-	-	-	-0,19ns	0,70*	0,71
Catingueira						
PST	0,84*	0,82*	-0,97**	-0,84*	-0,83*	-0,12ns
CE _{ES}	0,85*	0,91*	-0,73*	-0,99**	-0,98**	0,26ns
Na-solo	0,85*	0,90*	-0,80*	-0,98**	-0,93*	0,15ns
Na/K	-	0,98**	-0,86*	-0,87*	-0,60*	0,42ns
Na-Pa	-	-	-0,81*	-0,93*	-0,67*	0,46ns
MST	-	-	-	0,74*	0,87*	-0,29ns
Pau-ferro						
PST	-0,05ns	-0,14ns	-0,97**	-0,78*	-0,39*	0,0ns
CE _{ES}	-0,59ns	-0,56ns	-0,85*	-0,31ns	0,17ns	0,55ns
Na-solo	-0,49ns	-0,51ns	-0,89*	-0,42ns	0,05ns	0,44ns
Na/K	-	0,87	0,10ns	-0,58*	-0,89*	-0,99**
Na-Pa	-	-	0,07ns	-0,46*	-0,72*	-0,84**
MST	-	-	-	0,73*	0,32ns	0,07ns

*, ** e ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

5 CONCLUSÕES

A aplicação dos corretivos diminuiu a salinidade e a sodicidade do solo salino-sódico, sendo que o enxofre elementar e o ácido sulfúrico apresentaram o melhor desempenho.

Os corretivos favoreceram o crescimento e a produção de matéria seca das plantas, sendo que o pau-ferro foi a espécie que se mostrou mais tolerante ao excesso de sais e sódio.

O excesso de sais e sódio no solo elevou os teores de sódio e a relação sódio/potássio na parte aérea e diminuiu a condutância estomática e concentração intercelular de CO_2 .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W.F. **Efeitos da salinidade sobre a germinação e desenvolvimento inicial do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*)**. Lavras: UFLA, 2009. 65 p.

ALVES, F.A.L.; SILVA, S.L.F.; SIVEIRA, J.A.G.; PEREIRA, V.L.A.; Mecanismos fisiológicos envolvidos com a diminuição de K^+ em raízes de cajueiro causada por NaCl. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, 40:588-595, 2009.

AMEZKETA, E.; ARAGÜÉS, R.; GAZOL, R. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum, and Two Gypsum By-Products in Soil Crusting Prevention and Sodic Soil Reclamation. **Agronomy Journal**, 97:983–989, 2005.

BARROS, M.F.C.; BEBÉ, F.V.; SANTOS, T.O.; CAMPOS, M.C.C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de biologia e ciências da terra**, Volume 9 - Número 1 - 1º Semestre 2009.

BLANCO, F.F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. Piracicaba, 1999. 104 p. : il.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física do solo do Instituto Agronômico de Campinas**. Boletim técnico 106, Campinas, 1986, 94 p.

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). Petrolina: **EMBRAPA-CPATSA**, 1988. 57p. (Documentos 54).

- DIAS, N.S.; MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R.; SILVA, F.V.; BARROS, A.D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.8, n. 2-3 May/Dec. 2004.
- DURAN, R.; GARCIA, J.; AMAYA, R. Amendment evaluation for the reclamation of sodic soils in the Cesar Valley. **Suelos Ecuatoriales**, 30:21-28, 2000.
- EL-DARDIRY, E.I. Effect of soil and water salinity on barley grains germination under some amendments. **Word Journal of Agricultural Sciences**, 3:329-338, 2007.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira Pesquisa agropecuária**. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212 p.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira Pesquisa agropecuária**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FAGERIA, N.K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, 88:237-243, 1985.
- FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; NEVES, J.C.L.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, D.B. Produção relativa do milho e teores folheares de nitrogênio, fósforo, enxofre e cloro em função da salinidade do solo. **Revista Ciência Agronômica**, 38:7-16, 2007.
- FREIRE, R.M.O.; NOGUEIRA, N.W.; OLIVEIRA, F.N.; COSTA, E.M.; RIBEIRO, M.C.C. Efeito da irrigação com água salina na emergência e crescimento inicial de plântulas de jucá. **Revista Caatinga**, 23: 54-58, 2010.
- GHARAIBEH, M.A.; ELTAIF, N.I.; SHUNNAR, O.F. Leaching and reclamation of calcareous saline-sodic soil by moderately saline and moderate-SAR water using gypsum and calcium chloride. **Journal Plant Nutrution Soil Scince**, 172: 713-719, 2009.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A.J.; NIX, A.J. Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, **Management and Case Studies**. p. 517. CABI Publishing, Wallingford, UK. 1995.

GILL, J.S.; SALE, P.W.G; TANG, C. Amelioration of dense sodic subsoil using organic amendments increases wheat yield more than using gypsum in a high rainfall zone of southern Australia. **Field Crops Research**, 107:265 - 275, 2008.

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

GOMES, K.R.; AMORIM, A.V.; FERREIRA, F.J.; FILHO, F.L.A.; LACERDA, C.F.; FILHO, E.G. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15:365–370, 2011.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, 31: 149 –190, 1980.

GUPTA, J.P.; GOI, A.T.R. Effect of gypsum applications on physicochemical characteristics of sodic soil and crop yield of rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*). **Indian Journal of Agronomy**, 37:812-814, 1992.

GUPTA, R.K. & ABROL, I.P. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. **Advances in Soil Science**, 11:224-88, 1990.

HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K. & BOHNERT, H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 51: 463 - 499, 2000.

HOLANDA, A.C.; SANTOS, R.V.; SOUTO, J.S; ALVES, A.R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. 7:39-50. 2007.

HOLANDA, J.S.; VITTI, G.C.; SALVIANO, A.A.C.; MEDEIROS, J.D.F.; AMORIN, J.R.A. Alterações nas propriedades químicas de um Solo aluvial salino-sódico decorrentes da Subsolação e do uso de condicionadores. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:387-394, 1998.

HUSSAIN, N.; HASSAN, G.; ARSHADULLAH, M.; MUJEEB, F. Evaluation of Amendments for the Improvement of Physical Properties of Sodic Soil. **International Journal of Agriculture & Biology**, 3:319-322, 2001.

IYENGAR, E.R.R.; REDDY, M.P. Photosynthesis in highly salt tolerant plants. p: 897-909. In: M. Pesserkali (ed.). **Handbook of photosynthesis**. Marshal Dekar, Baten Rose, USA, 1996. 952 p.

JUNIOR, J.A.L.; SILVA, A.L.P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de Prevenção de solos salinos. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, 6:1-21, 2010.

LEAL, I.G.; ACCIOLY, A.M.A.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, M.B.G.S.; MONTENEGRO, A.A.A. FERREIRA, F.L. Fitorremediação de solo salino sódico por *atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1065-1072, 2008.

LEITE, E.M.; CAVALCANTE, L.F.C.; DINIZ, A.A.; SANTOS, R.V.; ALVES, G.S.; LUCENA, CAVALCANTE, I.H.L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, 12:168-176, 2007.

LEITE, E.M.; SANTOS, R.V.; SOUTO, P.C.; VITAL, A.F.M.; ARAÚJO, J.L. Crescimento inicial de espécies arbóreas em solo degradado do semi-árido tratado com corretivos. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)** v.5, n.3, p.179 – 187. 2010.

LIMA, A.P.B.; LOBATO, A.K.S.; OLIVEIRA, N.C.F.; ALMEIDA, C.M.; GOUVÊA, D.D.S.; MARQUES, L.C.; CUNHA, R.L.M. COSTA, R.C.L. Transpiração e condutância estomática em folhas de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King R.A) submetidas ao estresse hídrico e à reidratação. **Revista Brasileira de Biociências**, 5:933-935, 2007.

MALAVOTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: **Ceres**, p.220-220. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2. ed. 1997. 319 p.

MCBRIDE, M.B. **Environmental Chemistry of Soils**. Oxford University Press, 1995, 416 p.

MELLONI, R.; SILVA, F.A.M.; CARVALHO, J.G. Cálcio, magnésio e potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon Urundeuva*). **Cerne**, 6:35-40, 2000.

MELO, R.M.; BARROS, M.F.C; SANTOS, P.M.; ROLIM, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral¹, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12:376–380, 2008.

MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M.; FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.G. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto De cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), 21:18-25, 2008.

MOHAMED, A.I.; ALI, O.M; M.A.; MATLOUB, M.A. Effect of soil amendments on some physical and chemical properties of some soils of Egypt under saline irrigation water. **African Crop Science Conference Proceedings**. 8:1571-1578, 2007.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, 25:239 – 250, 2002.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; CORREIA, K.G.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O. Crescimento e floração do girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, 41: 358-365, 2010.

OLIVEIRA, A.B.; FILHO, E.G.; FILHO, J.E. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das Plantas ao estresse salino. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, vol.6, n.11; 2010 p. 1-16.

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, 1997. cap. 1, p. 1-35.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. & MITTRA, B. Effects of salt on growth, ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. **Trees - Structure and Function**, 18: 167–174, 2004.

PAZHANIVELAN, S.; AMANULLAH, M.M.; VAIYAPURI, K.; ATHYAMOORTHY, K.; RADHAMANI, S. Influence of Planting Techniques and Amendments on the Performance of Tamarind (*Tamarindus indicus*) and Changes in Soil Properties in Rainfed Alkali Soil. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, 4: 285-288, 2008.

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, 1985, *Anais...* Brasília, EMBRAPA/DDT, 1986. p.85-105.

PITMAN, M.G., LAÜCHLI, A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: **Salinity: Environment-Plants-Molecules** (A. Laüchli & U. Lüttge, Eds.), pp. 3–20. Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands. 2002.

QADIR, M.; OSTER, J.D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A.D.; SAHRAWAT, K.L. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. **Advances in Agronomy**, 96:197-247, 2007.

QADIR, M.; QURESHI, R.H.; AHMAD, N. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. **Geoderma**, 74:207-217, 1996.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e Adubação**. Campinas: CERES, 1991. 346p.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J. & MONTENEGRO, A.A.A. Solos Halomórficos do Brasil: Ocorrência, Gênese, Classificação, Uso e Manejo Sustentável. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ, V.H. Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 3, Viçosa, 2003.

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **Washington: US Department of Agriculture**, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

ROMERO-ARANDA, R.; MOYA, J.L.; TADEO, F.R.; LAGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. **Plant Cell and Environment**, 21:1243-1253, 1998.

RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M.; VENEGAS, V.H.A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 39:1119-1126, 2004.

SANTOS, R.V.; MURAOKA, T. Interação salinidade e fertilidade do solo In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.289-317.

SANTOS, R.V.; TERTULIANO, S.S.X. Crescimento de espécies arbóreas em solo Salino-sódico tratado com ácido sulfúrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2:239-242, 1998.

SILVA, M.B.R.; VIEGAS, R.A.; NETO, J.D.; FARIAS, S.A.R. Estresse salino em plantas da espécie florestal sabiá. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, 10:120-127, 2009.

STAMFORD, N.P.; FREITAS, A.D.S; FERRAZ, D.S.; SANTOS, C.E.S. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. **Journal of Agricultural Science**, 139, 275 - 281, 2002.

STAMFORD, N.P.; M.R. RIBEIRO, M.R.; CUNHA, K.P.V. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal Microbiology Biotechnology**, 23:1433-1439, 2007.

SUAREZ, D.L. Sodic soil reclamation: Modelling and field study. **Australian Journal Soil Research**. 39: 1225–1246, 2001.

TAIZ, L. & Zeiger, E. Fisiologia do Estresse (Tradução 3 ed). In: TAIZ, L. & Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. ED. Artmed, Califórnia, 2004.

TANJI, K.K. Nature and extent of agricultural salinity. In: Agricultural Salinity Assessment and Management, Manuals and Reports on Engineering Practices No. 71 (Tanji, K.K., Ed.), pp. 1–17. **American Society of Civil Engineers**, New York, 1990.

VERMA, S.K.; SHARMA, O.P. Growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) in black alkali soils as influenced by methods of gypsum application. **Indian Journal of Agriculture Science**, New Delhi, 70:791-793, 2000.

VITAL, A.F.M.; SANTOS, R.V.; CAVALCANTE, L.F.C.; SOUTO, J.S. Comportamento de atributos químicos de um solo salino-sódico tratado com gesso e fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9:30-36, 2005.

WARREN, C.R. Soil water deficits decrease the internal conductance to CO₂ transfer but atmospheric water deficits do not. **Journal of Experimental Botany**., v.59, p.327:334, 2008.

ZAKA, M.A.; MUJEEB, F.; SARWAR, G.; HASSAN, N.M.; HASSAN, G. Agromelioration of Saline Sodic Soils. **Journal of Biological Sciences**, 3:329-334, 2003.

ZIA, M.H.; SABIR, S.M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Effectiveness of Sulphuric Acid and Gypsum for the Reclamation of a Calcareous Saline-Sodic Soil Under Four Crop Rotations. **Journal Agronomy & Crop Science**, 193: 262-269, 2007.

APÉNDICE

Tabela A. Quadrados médios para as variáveis do experimento I, obtidas do complexo sortivo do solo.

F.V.	GL	Quadrados Médios						
		Na	K	Ca	Mg	PST	pH CaCl_2	CE _{1:5}
Trat.	4	76,51**	0,001**	28,63**	3,50**	4131,54**	4131,54**	1,54**
Resíduo	15	0,538	0,000	0,222	0,068	13,035	0,036	0,032
CV (%)		11,9	7,1	11,4	19,6	7,9	2,3	21,6

Tabela B. Quadrados médios para as variáveis do experimento I obtidas do extrato de saturação.

F.V.	GL	Quadrados Médios				
		CE _{es}	Na	Ca ^{Z+} + Mg ^{Z+}	PST	RAS
Trat.	4	183,871*	15041,711**	114,892**	2005,868**	19762,808*
Resíduo	15	30,953	2152,936	12,683	88,857	3599,309
CV (%)		44,4	42,5	42,3	23,5	78,4

Tabela C. Quadrados médios para as variáveis crescimento relativo em altura (CRA), matéria seca relativa da parte aérea (MSPA), matéria seca relativa de raízes (MSRR), teores de K, Na e relação Na/Na matéria seca da parte aérea.

F.V.	GL	Quadrados Médios					
		CRA	MSRPA	MSRR	K	Na	Na/K
Espécie (E)	3	7349,970**	2901,009**	2181,856**	328,505**	45,124**	0,271**
Cor. Solo (C)	3	12171,253**	6924,063**	5679,779**	55,787**	38,251**	0,253**
E x C	9	1173,268**	567,233**	576,957**	15,469**	15,235**	0,049**
Resíduo	32	276,321	113,175	176,159	4,267	1,487	0,015
CV (%)		34,1	28,7	44,53	15,2	33,9	42,9

Tabela D. Quadrados médios para as variáveis Concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (GS) e taxa de fotossíntese líquida (A).

F.V.	GL	Quadrados Médios			
		Ci	E	GS	A
Espécie (E)	3	1546,432**	2,153**	0,042**	64,108**
Cor. Solo (C)	3	3922,682**	0,851**	0,006**	0,525ns
E x C	9	2016,182**	0,242ns	0,009**	19,446**
Resíduo	32	338,141	0,129	0,001	0,936
CV (%)		7,35	13,4	18,1	10,1



Figura A - Visão geral da área degradada por excesso de sais e sódio, no Perímetro irrigado de São Gonçalo, onde foram obtidas as amostras de solo do experimento.



Figura B - Visão geral das parcelas experimentais por ocasião da instalação do experimento.

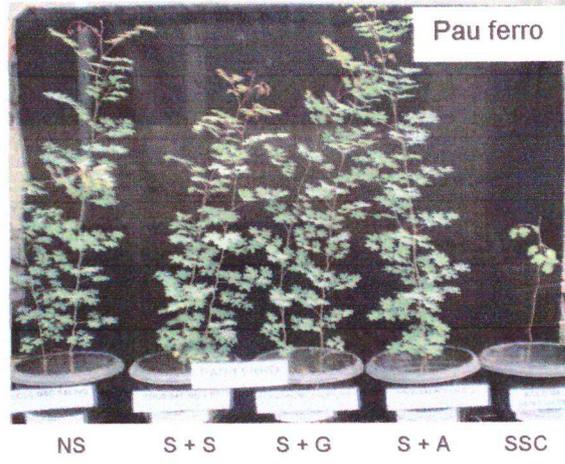
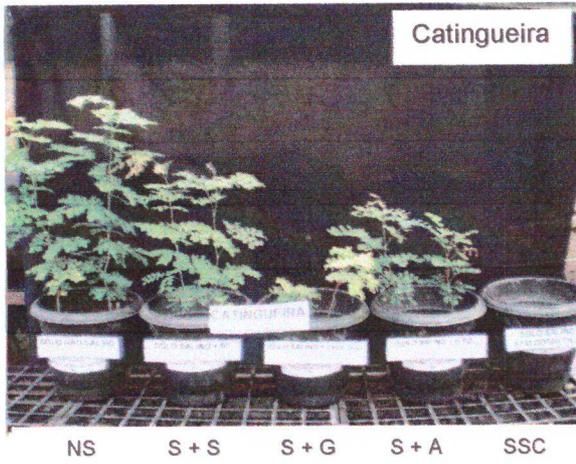
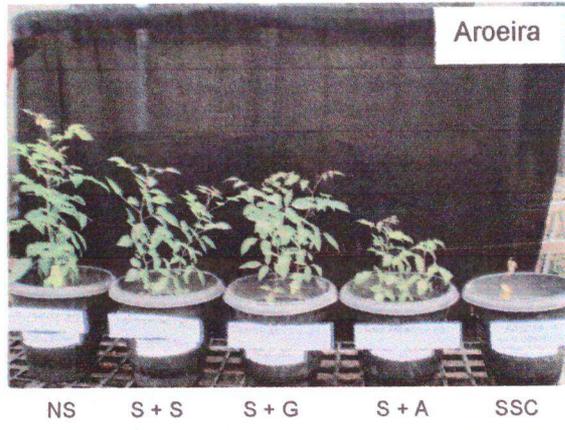
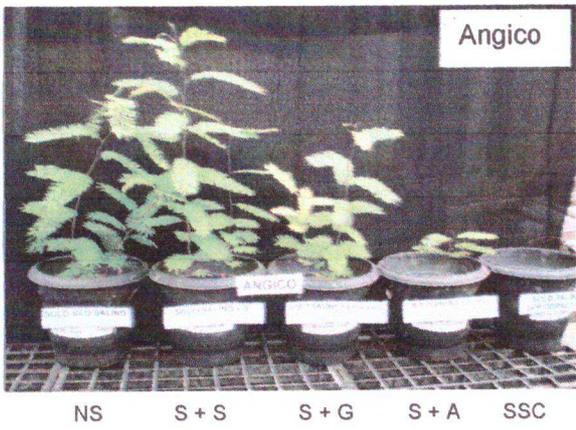


Figura C - Efeito dos corretivos sobre o crescimento das espécies angico, aroeira, catingueira e pau ferro após 30 dias de cultivo.