EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DA CULTURA DO ARROZ (*Oryza sativa*, L.)

FRANCISCO ASSIS DE OLIVEIRA

Orientador : RUBENS SCARDUA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio, 1983

À meus pais e irmãos,

OFEREÇO

À minha companheira

Bernardete

e a minha filha

Juliana

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof., Dr. Rubens Scardua, a amizade, dedicação e irrestrito apoio na orientação deste trabalho;
- Ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, através dos Profs., Dr. Epaminondas Sansígolo de Barros Ferraz, Dr. Klaus Reichardt, Dr. Nilson Augusto Vila Nova e Dr. Paulo Leonel Libardi, pela prestimosa colaboração ao colocarem à nossa disposição a área e material de apoio para condução dos trabalhos experimentais;
- A Todos que fazem o Departamento de Engenharia Rural da ESALQ por permitirem o uso do Laboratório de Análise de Solo;
- Ao Prof., Dr. Francisco José Krug, pelo dedicado empenho na realização das análises da planta e do solo através do Laboratório de Radioquímica e Química Analítica, CENA/USP;
- Ao Prof., Dr. Walter de Paula Lima, pela presteza em deixar o Laboratório de Silvicultura do Departamento de Engenharia Florestal da ESALQ à nossa disposição;
- À Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EPABA) pela compreensão em permitir que viéssemos realizar este trabalho;
- À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do seu Departamento de Recursos Humanos (DRH), pelo reconhecido apoio em prol da realização desse aperfeiçoamento;

Ao Artigo 99, à antiga Escola de Agronomia do Nordeste e aos Cursos de Pós-Graduação do Centro de Tecnologia da UFPb e da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da USP, pelos ensinamentos;

Aos Colegas do Curso de Pós-Graduação, a amizade dispensada e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

INDICE

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Qualidade da Água de Irrigação	8
2.2. Salinidade da Água de Irrigação	8
2.2.1. Efeito sobre o solo	8
2.2.1.1. Acúmulo de sais no solo	8
2.2.1.2. pH do solo	13
2.2.1.3. Condutividade elétrica	13
2.2.1.4. Lixiviação dos sais	15
2.2.1.5. Retenção de água pelo solo	16
2.2.2. Efeito sobre a cultura	18
2.2.2.1. Germinação das sementes	18
2.2.2.2. Sintomas de toxidez das plantas	19
2.2.2.3. Crescimento das plantas	20
2.2.2.4. Pressão osmótica	23
2.2.2.5. Produção de matéria seca	26
2.2.2.6. Desenvolvimento radicular	28
2.2.2.7. Índice de área foliar	29
2.2.2.8. Consumo de água pelas plantas	29
2.2.2.9. Fisiologia das plantas	31
2.2.2.10. Efeito específico dos íons	34
2.2.2.10.1. Sódio e Cloro	34
2.2.2.10.2. Cálcio, Magnésio e Po- tássio	36
2.2.2.10.3. Sulfato e Bicarbona- to	37

4.1.3. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água de drenagem	63
4.1.4. Drenagem do solo	66
4.1.5. Capacidade de retenção de água pelo solo.	69
4.2. Efeito dos Tratamentos Sobre a Cultura	72
4.2.1. Germinação das sementes	72
4.2.2. Sintomas de toxidez	74
4.2.3. Altura e perfilhamento	75
4.2.4. Índice e duração da área foliar	77
4.2.5. Produção de matéria seca	80
4.2.6. Evapotranspiração e eficiência de consumo	84
4.2.7. Teor e acúmulo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , S^{4+} e Cl^{-} nas plantas	89
4.2.7.1. Teor e acúmulo de cálcio	91
4.2.7.2. Teor e acúmulo de magnésio	92
4.2.7.3. Teor e acúmulo de potássio	93
4.2.7.4. Teor e acúmulo de sódio	96
4.2.7.5. Teor e acúmulo de enxofre	98
4.2.7.6. Teor e acúmulo de cloro	101
5. CONCLUSÕES	109
6. LITERATURA CITADA	111
APÊNDICE	131

EFEITO DA SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SOBRE ALGUMAS
CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DA CULTURA DO ARROZ
(*Oryza sativa*, L.)

Francisco Assis de Oliveira

Rubens Scardua - Orientador

RESUMO

Em casa de vegetação, localizada na área do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no Município de Piracicaba, SP, estudou-se o efeito dos sais na água de irrigação, sobre algumas características do solo e da cultura.

O experimento foi conduzido em vasos com 27 cm de diâmetro por 65 cm de altura com 53 kg de solo proveniente dos solos da Série Sertãozinho (Regossolo), do Município de Piracicaba. Os tratamentos foram definidos pela adição de zero, 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais solúveis à água de irrigação, resultantes da mistura (50% NaCl + 15% NaHCO₃ + 15% CaSO₄ + 10% Mg SO₄ + 10% CaCl₂), quimicamente puros. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados com 5 tratamentos e 5 repetições. Após 25 dias da germinação aplicou-se diariamente as irrigações salinas. Determinou-se a evapotranspira-

ção e anotou-se os dados fenológicos da cultura. Ao término do experimento, fez-se a "lavagem" do solo com aplicações de 40 mm de água. As partes da planta foram colhidas em separado, secas em estufa a 70°C, pesadas e moídas para fins de análises dos elementos cálcio, magnésio, potássio, sódio, enxofre e cloro.

Os resultados obtidos mostram que os níveis de sais na água de irrigação aumentaram a capacidade de troca de cátions (CTC), a percentagem de saturação de bases (V%), os teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Cl^- , a relação de adsorção de sódio (RAS), acúmulo de sais no solo, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), porém reduziram a capacidade de retenção de água pelo solo. A lavagem do solo com 250, 400, 440 e 440 mm de água foi suficiente para reduzir a CE da drenagem de 16 a 2; 27 a 2; 36 a 2 e 40 a 5 mmhos/cm a 25°C para os tratamentos 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais solúveis, respectivamente.

Os sais na água de irrigação afetaram desfavoravelmente a germinação das sementes. O ápice e margens das folhas apresentaram-se com sintomas de queima progressiva, reduziram significativamente a altura das plantas, o número de perfilhos, o índice e duração da área foliar, a produção de grãos e de matéria seca, a evapotranspiração e, aumentaram a quantidade de água consumida por grama de matéria seca produzida. Causaram decréscimos significativos nas quantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- absorvidas pelas plantas. Os

efeitos foram de natureza cúbica para o acúmulo de SO_4^{2-} e K^+ e do 4º grau para o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Cl^- . Por outro lado, os teores desses elementos na matéria seca da planta cresceram em função dos tratamentos em efeito de natureza: linear para os teores de Na^+ e Ca^{2+} e quadrático para o Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} e Cl^- . Entretanto, o colmo foi a parte da planta que apresentou maior teor de Na^+ e Cl^- com valores de 4,38 e 7,20% e nas folhas os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} com valores de 1,24; 0,52; 6,20 e 0,56%, respectivamente, ambos nas plantas do tratamento de maior nível salino. Foram as raízes a parte da planta que concentrou teores menores desses elementos.

THE SALINITY EFFECT OF IRRIGATION WATER ON SOME SOIL AND
RICE (*Oryza sativa*, L.) CROP CHARACTERISTICS

Francisco Assis de Oliveira

Rubens Scardua

Adviser

SUMMARY

A study was carried out of the effect of salt content in irrigation water on some soil and rice crop characteristics, under greenhouse conditions, at the Agrometeorological Station of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, SP., Brazil.

The experiment was carried out in 65 cm high pots with 27 cm diameter, using 53 kg of soil from the Soil Series "Sertãozinho", in Piracicaba. The treatments were defined by adding 0, 2000, 4000, 6000 and 8000 ppm of chemically pure soluble salts to the irrigation water, resulting from a mixture (50% NaCl + 15% NaHCO₃ + 15% CaSO₄ + 10% MgSO₄ + 10% CaCl₂). An experimental design in completely randomized blocks was utilized, with 5 treatments and 5 replications. Twenty five days after germination, saline irrigation began

to be applied daily. Evapotranspiration was determined, and phenologic data for the crop were recorded. Upon completion of the experiment the soil was leached by applying 40 mm up to 440 mm of water. Plant parts were collected separately, dried in an oven at 70°C, weighed and ground for calcium, magnesium, potassium, sodium, sulphur and chlorine analysis.

The results obtained showed that the sal levels in the irrigation water increased the cation exchange capacity (CEC), base saturation percentage (V%), exchangeable contents of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ and Cl^- , sodium absorption ratio (SAR), soil salt content, electric conductivity of saturation extract (CEse), but decreased the water retention capacity of the soil. Leaching the soil with 250, 400, 440 and 440 mm water was enough to reduce electric conductivity of drainage from 16 to 2; 27 to 2; 36 to 2 and 40 to 5 mmhos/cm at 25°C for treatments 2000, 4000, 6000 and 8000 ppm of soluble salts, respectively.

Salt in the irrigation water unfavourably affected seed germination. The apex and edges of leaves presented symptoms of progressive burning; plant height, number of shoots, leaf area, production of grain and dry matter, evapotranspiration, were significantly decreased; and water consumption by gram of dry matter increased. A decrease was also noted for the amounts of Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} and Cl^- absorbed by the plants. Cubic effects for S^{4+} and K^+ concentration and 4th degree effects for Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and Cl^- were noted. On the other hand, the contents of these elements

in the plant dry matter increased with treatments, as to: linear effects for Na^+ and Ca^{2+} contents and quadratic effects for Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} and Cl^- . However, the straw was the plant part which presented the highest content of Na^+ and Cl^- with values 4.38 and 7.20%, for the leaves, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ and SO_4^{2-} contents reached values 1.24; 0.52; 2.60 and 0.56%, respectively, both (straw and leaves) in the plants with the treatments with the highest salt level. The roots were the plant parts which concentrated lower contents of these elements.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos históricos da humanidade re-trata-se o uso da irrigação e com o contínuo crescimento de-mográfico tem se tornado indispensável ao desenvolvimento agrí-cola e sócio-econômico das regiões áridas e semi-áridas do glo-bo terrestre. Atualmente, mais da metade da população mun-dial depende de alimentos que são produzidos somente em virtu-de da prática de irrigação. Porém, os sais solúveis conduzi-dos na água têm se constituído em sérios problemas de salini-dade dos solos das áreas irrigadas.

A qualidade da água para uso na irrigação vem sendo estudada exaustivamente desde o início do século. A aten-ção desses estudos tem sido voltada principalmente para re-giões áridas e semi-áridas, notadamente nas áreas onde a pre-cipitação pluviométrica nem sempre é suficiente para atender a demanda de água pelas plantas.

A irrigação dos solos dessas regiões depende de água que normalmente contém sais solúveis, às vezes, em níveis prejudiciais às plantas. Os sais solúveis que se encontram na água de irrigação e que evidentemente contribuem para salinizar os solos, consistem basicamente de proporções variáveis de cátions de cálcio, magnésio e sódio e dos ânions cloreto, sulfato, bicarbonato e, às vezes carbonatos. Quando esse tipo de água é aplicada em excesso ao solo, parte desses sais fica na região explorada pelas raízes. A outra parte é lixiviada, podendo posteriormente retornar às camadas superficiais do solo por ascensão capilar devido à evaporação da superfície livre e da transpiração da cultura.

A alta demanda evaporativa que normalmente ocorre nessas regiões, transfere para atmosfera grande parte da água armazenada na zona radicular da cultura e deixa a solução do solo com maior concentração salina. Após certo período de irrigação, há necessidade de se fazer a lavagem do solo com água de boa qualidade para eliminar ou lixiviar o excesso de sais da zona radicular da cultura, deixando-o em condições de salinidade aceitável pelas plantas e evitando-se que o mesmo se torne progressivamente salino.

Com irrigações sucessivas na ausência de lixiviação ou drenagem dos sais solúveis, estes vão se acumulando gradativamente até atingir níveis suficientes para alterar as características do solo e da cultura. Vários estudos têm mostrado que a salinidade reduz significativamente o desenvolvi-

mento das plantas de arroz. A interrelação entre a qualidade da água de irrigação, os sais do solo, a lixiviação ou drenagem e a resposta das plantas ao meio, são pré-requisitos indispensáveis a uma boa operação e preservação da produtividade dos solos nos perímetros irrigados.

Com base nas considerações acima referidas foram definidos os objetivos do presente trabalho, como sendo: estudar os efeitos da concentração de sais solúveis contidos na água de irrigação, nas propriedades do solo, na produção do arroz e a necessidade de lixiviação dos sais solúveis da zona radicular.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Qualidade da Água de Irrigação

A qualidade da água de irrigação é um importante fator no processo de salinização dos solos das regiões áridas e semi-áridas, com consequências desfavoráveis no desenvolvimento das culturas. A água usada na irrigação, em geral contém sais solúveis em níveis variados e, quando esta é aplicada ao solo na ausência de lixiviação ou drenagem restrita e em presença de evapo-transpiração excessiva, produz acúmulo dos sais na zona radicular em concentrações prejudiciais à vida das plantas (BERNSTEIN, 1974; BLACK, 1975; FAGERIA et alii, 1981; SHALHEVET, 1973).

Os principais solutos encontrados na água de irrigação são os cátions cálcio, magnésio, sódio, potássio e os ânions bicarbonato, sulfato e cloro. Boro, fluor e nitrato

to estão normalmente presentes em baixas, porém significantes concentrações (RICHARDS, 1974; SOUZA, 1971; WILCOX e DURUM, 1967).

A fonte dos sais da crosta terrestre é fruto da própria formação geológica do solo que a rocha matriz deu origem. Segundo FOTH e TURK (1972), a composição química dos minerais do solo tem grande importância no processo de composição e concentração dos sais na água armazenada, pois, através do processo de intemperização química pela hidrólise, hidratação, oxidação e carbonatação, os constituintes solúveis são gradualmente liberados.

Hilgard em 1906 (apud WILCOX e DURUM, 1967) foi um dos primeiros a reconhecer a importância da qualidade da água para irrigação e propôs padrões, baseado na composição e concentração dos sais dissolvidos. Chegou mesmo a estabelecer para a irrigação na Califórnia um limite superior de 680 ppm de sais.

Em 1931, o Serviço de Extensão Agrícola da Universidade da Califórnia, introduziu o primeiro esquema de classificação da água com base na condutividade elétrica em mmhos/cm a 25°C e na concentração de boro, sódio e sulfato (SOUZA, 1971). Em seguida (Taylor et alii em 1935 apud WILCOX e DURUM, 1967), propuseram uma equação empírica conhecida como "Índice de sal". WILCOX (1948) também apresentou um programa de classificação com base na concentração total dos sais e percentagem de sódio, o qual foi modificado por THORNE e THORNE

(1951), tomando por base a condutividade elétrica em mmhos/cm a 25°C e a concentração dos sais. Logo depois, foi publicado um outro diagrama de classificação combinando a adsorção de sódio e a concentração total dos sais (U.S. SALINITY LAB. STAFF, 1954) e posteriormente SCHOONOVER (1966), estabeleceu um critério de classificação com base na condutividade elétrica em micromhos/cm a 25°C, sólidos totais dissolvidos, cloro, sódio e boro.

A classificação feita por DONNEN (1954) se baseia no termo "salinidade efetiva". Este termo inclui todos os sais dissolvidos na água de irrigação exceto sulfato de cálcio, bicarbonato de cálcio e magnésio. Pois, esses sais se precipitam e não contribuem para salinidade do solo.

WILCOX e DURUM (1967) e RICHARDS (1974), afirmam que a concentração total dos sólidos dissolvidos é, provavelmente o mais importante critério para se avaliar a qualidade da água de irrigação e deve ser expresso em partes por milhão (ppm) ou condutividade elétrica em micromhos/cm. Para muitas aplicações a condutividade elétrica é adequada como medida da concentração total dos sais solúveis de modo que a determinação dos sólidos dissolvidos pode ser omitida. Isto por ser uma determinação rápida e grande parte dos sais inorgânicos terem a propriedade de se ionizarem quando em solução aquosa e, cujos íons resultantes serem carregados eletricamente e possuírem a propriedade de conduzir a corrente elétrica.

Nos projetos de irrigação das regiões áridas e

semi-áridas, além da análise e classificação dos solos quanto à salinidade, é necessário analisar e classificar a água de irrigação quanto à concentração e composição dos sais dissolvidos. Também deve-se considerar a textura do solo, velocidade de infiltração, facilidade de drenagem, qualidade da água, clima e tolerância das plantas aos sais. Qualquer desvio nos valores de um desses parâmetros pode tornar insatisfatória uma água classificada como adequada e vice-versa (RICHARDS, 1974; WILCOX e DURUM, 1967).

MATSUI (1978) verificou que as águas subterrâneas do cristalino do Estado de Pernambuco, possuem altos teores de sais geralmente superiores a 2000 ppm de resíduos secos e que existe um transporte significativo de sais pela água de chuva na forma de aerossóis. Segundo SALATI et alii (1979), as águas de poços subterrâneos do Nordeste brasileiro possuem salinidade variando de 350 a 25000 ppm de sólidos totais dissolvidos (resíduos secos) tendo como sais predominantes cloreto de sódio e magnésio. Porém, CRUZ e FERREIRA DE MELO (1969), afirmam que os principais fatores determinantes da salinização das águas subterrâneas daquela região são por ordem decrescente de influência: clima, modo de ocorrência (aquíferos livres ou confinados), condições de circulação de água e natureza geológica do aquífero.

Ainda no Nordeste REBOUÇAS (1973), medindo as concentrações de K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- e NO_2^- , na água de chuva, concluiu que o total de sais nas águas meteóricas é de

5,1 ppm correspondendo a uma contribuição de 0,8 tonelada de depósitos por quilômetro quadrado por ano. Segundo SOUZA FRANCISCO (1959), cerca de 35% das águas dos açudes e rios do Nordeste brasileiro são classificadas de duvidosas a más para uso na irrigação. Porém, WILCOX e DURUM (1967), afirmam que mais da metade das águas de irrigação no Oeste dos U.S.A. possuem menos de 500 ppm de sólidos dissolvidos, menos de 10% do total de suas águas possuem menos de 1500 ppm e há muito pouca água com mais de 3200 ppm de sólidos dissolvidos. Normalmente a água de irrigação contém centenas e, em casos extremos milhares de mg/l de sais em contraste com aproximadamente 10 mg/l encontrados na água de chuva (BERNSTEIN, 1974).

2.2. Salinidade da Água de Irrigação

2.2.1. Efeito sobre o solo

2.2.1.1. Acúmulo de sais no solo

Quando o solo é irrigado sua solução é pelo menos tão salina quanto a água aplicada na irrigação e normalmente é mais salina do que ela. O aumento da salinidade do solo resulta das perdas da água por evapotranspiração concentrando os sais na zona radicular da cultura. Se a quantidade de água aplicada ao solo for igual a evapotranspiração, o acú

mulo de sais no solo estará linearmente relacionado com a água aplicada. Porém, se a quantidade de água aplicada excede a evapotranspiração, parte dela penetrará além da zona radicular e o equilíbrio no nível de sais será atingido, dependendo da quantidade excedente e das condições de drenagem do solo (BRESLER, 1967; KELLEY, 1963; KELLER e ALFARO, 1966, LEO, 1963; SEIFERT Jr et alii, 1975; SHALHEVET, 1973; SHALHEVET e REINIGER, 1964).

Dos sais introduzidos no solo pela água de irrigação uma parte é absorvida pela cultura, outra parte fica na solução e uma pequena parcela é precipitada no solo. As perdas desses sais são compensadas, em geral, pela solubilização mineral do solo, de modo a se acreditar que a quantidade de sal não varia e que a concentração seja inversamente proporcional ao volume de água aplicada. Disto pode-se escrever a seguinte relação $CE_{ai}/CE_{as} = V_{as}/V_{ai}$, onde CE e V se refere a condutividade elétrica e o volume da água de irrigação (ai) e água do solo (as), respectivamente (U.S. SALINITY LAB. STAFF, 1954).

Segundo REITEMEIER (1946), as mudanças nas concentrações totais e relativas de cátions são simultaneamente acompanhadas por mudança no estado das bases trocáveis do solo por causa do equilíbrio existente entre os cátions solúveis e trocáveis. Esse mesmo princípio também é aplicado para a distribuição dos ânions solúveis e trocáveis. A complexidade desse processo é normalmente intensificada nos solos

de regiões áridas por causa da maior abundância de sais e minerais solúveis e a ocorrência de sais ligeiramente solúveis, tais como gesso e carbonato de cálcio.

Segundo PUFFELES (1939), quando se usa água salina na irrigação, dois fatores devem ser considerados, o efeito direto dos sais sobre as plantas e o efeito sobre o solo. Outros fatores importantes são, tolerância das culturas aos sais, forma radicular e evapotranspiração como maiores processos que concentram os sais na zona radicular e influenciam suas distribuições no perfil do solo, conforme descrito por (BERNSTEIN, 1974; BERNSTEIN e FRANÇOIS, 1973). Entretanto, BIGGAR e TANJ (1977), retratam que os processos e fatores que devem ser considerados em parte ou num todo na avaliação das mudanças evolutivas da água de irrigação quando esta se move através da zona radicular, estão: a) os íons trocáveis e suas proporções relativas à fase adsorvida e em solução; b) precipitação e dissolução dos sais ligeiramente solúveis e igualmente influenciadas pela composição e concentração da solução do solo e a pressão parcial de CO_2 na atmosfera do solo; c) transporte e mistura dos solutos existentes no solo com fluxo da água de irrigação e d) variabilidade espacial do solo.

Quando se cultiva plantas com água salina ou em solos salinos, resulta na distribuição desuniforme dos sais na zona radicular, sendo que a maior concentração dos sais se encontra na periferia da região umedecida (ALLISON, 1964; GOLDBERG et alii, 1971; TSCHESCHKE et alii, 1974). Entretanto,

LEWIS e JUNE (1956), verificaram que os sais solúveis foram igualmente distribuídos através do perfil do solo irrigado.

PESOTSKIL e ROZHKOV (1974), irrigando trigo em solos salino/alcalino constataram que o acúmulo de sais nos primeiros 70 cm do perfil aumentou de maneira uniforme em cerca de 70%. HUMMADI et alii (1975), no Arizona, usando na irrigação da alface água com 379 ppm de sais solúveis totais, constataram que o maior acúmulo de sais ocorreu nos 2,5 cm iniciais. No Texas, HIPPEL e GERARD (1973), em um Vertissolo usando na irrigação água com 2000 ppm de sais, constataram que a máxima acumulação dos sais se concentrou na zona radicular da cultura do algodão. SEIFERT Jr. et alii (1975), também no Texas, usando na irrigação água com 450, 800, 1600 e 2400 ppm de sais, obtiveram relação direta entre os níveis de sais usados na irrigação e o aumento da salinidade do solo.

QAYYUM e KEMPER (1962), usando 2% de sais de NaCl e CaCl_2 em colunas de solos, mesmo aplicando cinco níveis de umidade provocou alta salinidade no solo. KELLEY (1963), afirma que as condições físicas do solo são modificadas pelos sais solúveis a ponto de dispensar os agregados do solo e dessa maneira reduz a taxa de penetração de água no solo.

BERNSTEIN e FIREMAN (1957), para avaliar a distribuição final de sal no perfil do solo irrigado, usaram a

condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) onde a taxa de acumulação de sais (TAS) foi estimada pela seguinte relação:

$$TAS = (CE_{final} - CE_{do\ solo\ lixiviado}) / (CE_{inicial} - CE_{do\ solo\ lixiviado})$$

BLACK (1975), DAKER (1970), ISRAELSEN e HANSEN (1973) e SOUZA (1971), afirmam que nas regiões áridas e semi-áridas a água de irrigação é capaz de introduzir no solo de 1000 a 25000 kg de sais por hectare ano ou mais. Como nem todo o sal é perdido na água de drenagem, a tendência do solo é se tornar progressivamente salino. CRUCIANI (1980), atribui aos fertilizantes juntamente com a água de chuva a responsabilidade pelo acúmulo de sais no solo com teores de até 10 mg/l de solução.

A concentração de sódio e outros íons na água de irrigação altera a permeabilidade dos solos através da desagregação e dispersão de seus colóides (GARDNER, 1945; GARDNER et alii, 1959; McNEAL e COLEMAN, 1966; QUIRK e SCHOFIELD, 1955). Solos com Na^+ trocável maior ou igual a 15% de sua capacidade de troca e baixos em sais solúveis possuem suas estruturas deterioradas (U.S. SALINITY LAB. STAFF, 1954). Esse efeito é atribuído a hidrólise do Na^+ trocável, deixando os colóides do solo dispersos.

2.2.1.2. pH do solo

A influência dos sais e da umidade sobre a reação do solo tem sido estudado por vários pesquisadores notadamente CROWTHER (1925), HASSAN et alii (1970) e PIERRE (1925). A conclusão geral é que os sais diminuem os valores do pH do solo, mas a quantidade desse efeito não tem sido estudado sistematicamente.

PURI e ASGHAR (1938), retratam que o valor do pH do solo é consequência da superfície de ionização das partículas coloidais e hidrólise das bases trocáveis. É notório supor que a presença de sal (íon comum) reduz a hidrólise e resulta em perda no valor do pH. PURI e SARUP (1938), afirmam que o valor do pH de uma mistura de carbonato e bicarbonato de sódio é menor na presença de KCl do que na ausência. Corroborando com as considerações acima, HASSAN et alii (1970), constataram que o pH do solo diminuiu com o aumento da aplicação da mistura dos sais $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{MgSO}_4 + \text{CaCl}_2$ na solução.

Segundo SPURWAY e AUSTIN (1926), vários pesquisadores acreditam que o cátion de sal neutro fixado pelo solo é seletivamente adsorvido pelas partículas coloidais, mas libera o ânion do sal que por sua vez aumenta a concentração do íon hidrogênio na solução.

2.2.1.3. Condutividade elétrica

A variação da salinidade do solo deve ser estimada com precisão através de medidas periódicas da conduti-

vidade elétrica em mmhos/cm a 25°C da solução do solo, cujo valor está diretamente relacionado com a condutividade elétrica da água de irrigação e inversamente com a taxa de drenagem, (PEARSON, 1959).

KADDAH (1963) usando na irrigação do arroz água com 0,4; 0,8; 1,6; 2,3 e 3,1 mmhos/cm a 25°C, resultantes da mistura ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$), obteve aumento na condutividade elétrica da solução do solo da ordem de 1,7; 2,9; 3,9; 5,2 e 6,5 mmhos/cm a 25°C, respectivamente. SEIFERT Jr. et alii (1975), no Texas, usando na irrigação água com 450, 800, 1600 e 2400 ppm de sais, obtiveram uma relação direta entre os níveis de sais usados na água e o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Idênticos resultados foram obtidos por FERNANDEZ et alii (1977), quando usaram na irrigação água com 5, 10, 29 e 42 meq/l de NaCl, a condutividade elétrica bem como os níveis de Na^+ e Cl^- solúveis no solo aumentaram com o aumento dos sais aplicados na água.

LONGENECKER (1973) usando os níveis de 700, 4000 e 8000 ppm de sais totais, a condutividade elétrica do extrato de saturação obtida foi de 1,2; 3,3 e 4,7 mmhos/cm a 25°C, os cátion solúveis no extrato de saturação em meq/l, foram de 8,5; 20,7 e 31,1 para o Na^+ , 1,7; 4,3 e 6,9 o Cl^- , 1,2; 5,5 e 9,8 para o Mg^{2+} e 7,5; 9,3 e 10,8 para a percentagem de sódio trocável, respectivamente.

2.2.1.4. Lixiviação dos sais

A lixiviação ou drenagem são métodos básicos para se eliminar os sais solúveis do solo na zona radicular da cultura. O primeiro passo na redução eficiente da salinização é melhorar a drenagem interna do solo. Lixiviação ou drenagem adequada é pré-requisito para o sucesso da agricultura irrigada (BERNSTEIN, 1974). A salinidade do solo não é somente função do conteúdo de sais na água de irrigação, mas também da evapotranspiração e da taxa de drenagem interna (U.S. SALINITY LAB. STAFF, 1954). KELLEY et alii (1949) usando na irrigação por sulco, água com 900 ppm de sais totais em região árida, concluiu que o efeito da lixiviação foi suficiente para evitar a acumulação dos sais na camada do solo explorada pela cultura.

PEARSON (1959) em solos com três níveis de salinidade inicial (1, 8 e 16 mmhos/cm a 25°C), aplicando na irrigação água com 0,25; 1,5; 3,0 e 6,0 mmhos/cm a 25°C resultantes da mistura ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) e adotando taxas de drenagens de 0,15 e 0,61 cm/dia, obteve ao cabo de 43 dias, uma variação média da condutividade elétrica da solução do solo de: (2,1 - 4,2 - 6,1 - 11,1; 4,0 - 5,4 - 8,7 - 12,3; 4,6 - 7,7 - 10,6 - 15,0 mmhos/cm a 25°C) e (1,6 - 3,4 - 5,5 - 9,2; 1,8 - 3,7 - 5,6 - 8,4; 2,7 - 3,6 - 5,6 - 10,5 mmhos/cm a 25°C), respectivamente.

Segundo KELLEY (1963), nas áreas irrigadas a necessidade de lixiviação é muito variável e depende da concentração de sais na água de irrigação, do método de aplicação, da precipitação e das peculiaridades do solo. Em solo

que tem alguma drenagem interna inicial, embora limitada, os sais solúveis inicialmente presentes são lixiviados pela água de irrigação e influenciam menos a condutividade elétrica final da solução do solo (PEARSON, 1959).

Segundo o U.S. LABORATORY STAFF (1954) a necessidade de lixiviação (RL) do solo pode ser estimada pela seguinte equação: $RL = Dd/Di = Ci/Cd$, onde, D e C se refere a profundidade e a salinidade da água de irrigação (i) e drenagem (d), respectivamente. Porém, EATON (1954), apresentou fórmula para caracterizar e interpretar a análise da água de irrigação nos termos da percentagem de água que deve passar a través da zona radicular e a quantidade de Ca^{2+} que seria adicionado à água para provocar a lixiviação do sódio.

O método de aplicação da água é muito importante no processo de lixiviação dos sais do perfil do solo. A inundação intermitente requer menos água do que inundação contínua para se obter o mesmo grau de lixiviação (MILLER et alii, 1965). O deslocamento do sal é mais eficiente sob condições de fluxo não saturado, o que pode ser obtido por inundação intermitente ou por aspersão (BIGGAR e NIELSEN, 1967; MILLER et alii, 1965).

2.2.1.5. Retenção de água pelo solo

O estado de energia da água no solo, expresso em termos de potencial, depende do conteúdo de umidade e da natureza da matriz do solo (fenômeno capilar e adsortivo) e con-

centração de solutos. O potencial de água é frequentemente expresso em termos de sucção que é uma pressão negativa equivalente, dada pela água no solo e sua afinidade pela matriz do solo e pelos solutos (sais) presentes na solução do solo (HILLEL, 1972). A argila saturada com cátions bivalentes exibe maior absorção de água do que quando saturada com cátions monovalentes, exceto o Li^+ que se comporta como um íon divalente (BAVER et alii, 1972).

Segundo HEDGE e JOSHI (1974), os solos salinos possuem, em geral baixa capacidade de retenção de umidade, possivelmente devido ao alto conteúdo de sal. QAYYUM e KEMPER (1962), atribuíram a redução de 21% no conteúdo de retenção de umidade do solo, em "capacidade de campo" ao efeito do sal quando irrigaram com água destilada e com NaCl 5N. BOLT e MILLER (1955) constataram que o aumento dos sais no solo decresceu o conteúdo de umidade para uma dada tensão ou sucção. Por outro lado, HASSAN et alii (1970), usando os valores da condutividade elétrica da solução do solo em "capacidade de campo", 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20 e 30 mmhos/cm a 25°C, resultados da mistura dos sais ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{MgSO}_4 + \text{CaCl}_2$), constataram que a percentagem de saturação do solo aumentou com o aumento dos níveis de sais.

2.2.2. Efeito sobre a cultura

2.2.2.1. Germinação das sementes

Os efeitos da salinidade devem variar com o estágio de crescimento da planta. Pensou-se antes que o período de germinação fosse realmente a fase mais sensível aos efeitos dos sais, por causa do fracasso da germinação em solos salinos. Porém, estudos têm mostrado que a germinação não é geralmente mais sensível aos efeitos dos sais do que os estádios posteriores de crescimento (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958; GEORGE et alii, 1966; UHVITS, 1946). Entretanto, o efeito da salinidade durante a germinação não depende da composição da solução, mas tem relação direta com a concentração da solução do solo. (STROGONOV, 1964).

Devido às forças embebicionais dos colóides das sementes, 60% da água que elas necessitam para germinar é absorvida sem considerar a concentração dos sais na solução do solo. O restante, 40%, indispensável à germinação, sofre os efeitos das concentrações salinas (STROGONOV, 1964). Segundo DONNEN e MAc-GILLIVRAY (1943), a taxa de germinação das sementes decresce com o aumento da sucção da solução do solo e que cada semente possui seu próprio valor de sucção para germinar. Por exemplo, os valores para as sementes de milho, arroz, feijão e beterraba são: 12,5; 7,9; 6,6 e 3,5 bares, respectivamente. Porém, HUNTER e ERICKSON (1952), afirmam que estes são valores médios do solo e que os valores reais devem

ser determinados na interface solo-semente. BLACK (1968), re trata que as sementes podem absorver água do solo em condições de umidade abaixo do ponto de murcha permanente.

KADDAH (1963) usando na irrigação do arroz, água com 500, 1000, 1500 e 2000 ppm de sais de NaCl + CaCl₂, verificou que o aumento de sais atrasou a germinação e teve pequeno efeito sobre a percentagem de germinação entre várias cultivares. Resultados semelhantes foram encontrados por PEARSON et alii (1966) em 14 cultivares de arroz, submetidas aos níveis de sais 0,3; 10,7; 20,5; 30,4 e 40,3 mmhos/cm a 25°C, quando a germinação foi reduzida em 3, 5, 7, 31 e 79%, respectivamente. Ainda o aumento dos níveis de sais retardou o tempo de germinação. Idênticas respostas foram obtidas por PALIWAL e MEHTA (1973), usando na irrigação de sete cultivares de arroz, água com 15, 30 e 60 meq/l de NaCl e CaCl₂. Também LUNT et alii (1961), verificaram que a concentração de 47 meq/l de NaCl reduziu em 25% a germinação de várias espécies de gramíneas.

2.2.2.2. Sintomas de toxidez das plantas

Segundo OSOTSAPAR e MERCADO (1978), plantas de arroz submetidas às concentrações salinas (0, 0,1 e 0,3% de NaCl), apresentaram sintomas de queima nas margens e ápices das folhas cujos efeitos foram associados com a concentração, dos íons Na⁺ e Cl⁻ em seus tecidos. BERNSTEIN (1974), afirma que teores de Na⁺ nos limites de 0,25 a 0,50% e Cl⁻ de 0,5 a

1,0%, causam o secamento das folhas. BLACK (1975), afirma que a cultura crescendo em ambiente salino mostra uma coloração verde azulada mais escura do que quando ela não é submetida a ambiente salino. A cor da folhagem resulta do aumento no conteúdo de clorofila e dum recobrimento mais grosso da cutícula. Às vezes, o ápice e partes marginais das folhas mostram-se chamuscadas e também podem apresentar-se enroladas em forma de cartucho e com clorose incipiente.

KADDAH (1963) verificou que água com 1500 e 2000 ppm de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ na irrigação provocou sintomas de queima nas pontas dos "seedlings" de arroz e se estendeu gradualmente por toda a folha. Segundo BROWN et alii (1953) o principal efeito dessa mistura ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) é devido o acúmulo de Cl^- nas folhas da cultura.

2.2.2.3. Crescimento das plantas

A salinidade é um grande problema nas regiões áridas e semi-áridas causando decréscimos significativos no crescimento da cultura. Para explicar esses decréscimos três teorias têm sido propostas: Primeiro, os sais solúveis reduzem a energia livre da água do solo diminuindo assim sua disponibilidade para as plantas (BERSTEIN e HAYWARD, 1958; EATON, 1941; HAYWARD e SPURR, 1944); Segundo se baseia na teoria do ajustamento osmótico onde as plantas absorvem solutos em excesso do meio salino e nesse processo a energia desprendida pelas plantas para manter a pressão de turgor, causa efeito des

favorável ao crescimento da cultura (BERNSTEIN, 1961, 1963; JAMES, 1966; SLATYER, 1961). Terceiro, os sais devem exercer efeitos prejudiciais ao crescimento das plantas através da toxidez de um ou mais íons presentes em concentração relativamente elevada (FENN et alii, 1970; KIM CHOOM MIN, 1958; PHILIP, 1958a, 1958b; STROGONOV, 1964; UHVITS, 1946; U.S. SALINITY LAB. STAFF, 1954).

Segundo ACEVES-N et alii (1975), essas teorias são essencialmente de natureza filosóficas, elas não explicam completamente todos os mecanismos que afetam o crescimento e produção da cultura. Quando as células das plantas iniciam seus processos de alongamento, o excesso de sais modifica as atividades metabólicas, limitando de certa forma a elasticidade da parede celular, reduzindo o alongamento da célula e como consequência o crescimento da planta. OERTLI (1968) afirma que o alongamento da célula vegetal ocorre quando a pressão hidrostática vacuolar interna excede a pressão externa resultante das tensões nas paredes e membranas celulares e das pressões exercidas pelas células circunvizinhas. Com isto a pressão de turgor aumenta e a parede da célula ganha elasticidade e plasticidade permitindo sua expansão.

Os resultados de MAGISTAD (1945), mostram que o crescimento das plantas em meio salino é reduzido de acordo com sua tolerância ao sal. Esse decréscimo é uma decorrência do reflexo adverso na nutrição mineral das plantas, redução na absorção de água ou uma combinação de ambos (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958). Conforme a teoria da inibição osmótica o crescime

mento da cultura é reduzido por causa do baixo potencial de água na superfície das raízes e independe da natureza das substâncias osmoticamente ativas na solução (EATON, 1942; GUACH e WADLEIGH, 1944; HAYWARD e SPURR, 1944; JANES, 1958). Porém, EHRLER (1960), discorda dos investigadores acima, quando atribui a redução no crescimento das plantas, ao aumento na pressão osmótica relativo à presença do íon nos solos salinos. Afirma ainda que o arroz é mais sensível ao íon cloro, muitas outras gramíneas ao cálcio e feijão, ao magnésio.

O arroz é realmente uma cultura tolerante ao sal durante a germinação, mas é sensível no estágio inicial de crescimento (plantas com quatro folhas), ganha tolerância progressiva durante o perfilhamento, torna-se novamente sensível quando do florescimento e é finalmente tolerante na maturação dos grãos (GEORGE et alii, 1966; HAYWARD e BERNSTEIN, 1958; KAPP, 1947; PEARSON e AYERS, 1960; PEARSON e BERNSTEIN, 1958).

Segundo INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, (1974, 1975), a tolerância do arroz ao sal é influenciada pela natureza e conteúdo de sais, pH do solo, regime hídrico, método de plantio, época do transplântio, estágio de desenvolvimento e temperatura. Ainda, os níveis de salinidade prejudiciais à cultura estão entre 8 a 10 mmhos/cm a 25°C e a percentagem de folhas mortas é uma boa medida para se estimar o grau de tolerância varietal da cultura. Neste sentido vários estudos têm encontrado diferença varietal do arroz à tolerância ao sal

durante o estágio inicial de crescimento das plantas (KADDAH e FAKHRY, 1961, 1962; PEARSON e AYERS, 1960).

PEARSON (1959) usando solos com Três níveis de salinidade (1, 8 e 16 mmhos/cm a 25°C) e aplicando quatro níveis de sais na irrigação (0,25; 1,5; 3,0 e 6,0 mmhos/cm a 25°C), obteve redução da ordem de: 22% na altura das plantas, 45% no número de perfilhos, 70% no número de panículas, 75% no peso de matéria seca e 95% na produção de grãos.

KADDAH (1963) verificando o efeito das soluções salinas, 500, 1000, 1500 e 2000 ppm de NaCl e CaCl_2 na irrigação do arroz, constatou que o crescimento vegetativo foi menos afetado do que a produção. PALIWAL e MEHTA (1973) constataram que irrigação com níveis de 15, 30 e 60 meq/l de sais de NaCl e CaCl_2 apresentaram efeito significativo na redução do crescimento da cultura de arroz.

2.2.2.4. Pressão osmótica

O decréscimo da altura das plantas submetidas à solução do solo ou nutritivas com pressão osmótica crescente pode ser explicado em termos da clássica teoria osmótica pelo decréscimo na difusão do gradiente de pressão osmótica entre o meio e a planta. A variação desse gradiente entre o solo e a parte aérea da planta aumenta quando a salinidade do meio de desenvolvimento aumenta. Este argumento não leva em consideração as propriedades osmóticas da raiz como parte integrante da absorção de água e sistema de transmissão,

pois a pressão osmótica das raízes é bastante inferior à da parte aérea da planta e varia muito pouco com o aumento da salinidade do meio (EATON, 1942).

Vários estudos mostram que a redução no crescimento das plantas é principalmente devido a alta pressão osmótica da solução do meio e redução na eficácia de água para as plantas (BOWER e WADLEIGH, 1949; ELGABALY, 1955; GAUGH e WADLEIGH, 1944; HAYWARD e WADLEIGH, 1949; KELLEY, 1963; MAGISTAD, 1945).

MAGISTAD et alii (1943) encontraram redução linear no crescimento de uma dezena de espécies cultivadas, com o potencial osmótico decrescente na solução do solo nos limites de $-0,4$ até $-4,5$ bares. A redução do crescimento segundo o potencial osmótico da solução do solo ou de cultivo tem sido confirmada por vários investigadores, entre eles (AYERS, et alii, 1943; HAYWARD e LONG, 1943; WADLEIGH e AYERS, 1945; WADLEIGH et alii, 1946). Os trabalhos desses investigadores, indicam que reduções idênticas são produzidas no crescimento, de plantas submetidas a tensões hídricas similares.

KRAMER (1974), mostra que a redução do crescimento das plantas, causada por substrato salino, se relaciona mais estreitamente com a absorção de quantidades anormais de sais do que com absorção reduzida de água. Isto porque a alta concentração do sal no substrato reduz o potencial osmótico da seiva celular, e o potencial hídrico da célula se mantém baixo porque não pode elevar-se mais do que o potencial os

mótico do meio ambiente das raízes. É possível que se criem efeitos osmóticos cujos resultados sejam uma hidratação reduzida das proteínas, incluindo enzimas e desse modo ocorrem mudanças nos coeficientes dos processos metabólicos modificando a anatomia, morfologia e fisiologia das plantas (HONDA et alii, 1958; LATIES, 1954).

Em geral não existe ajustamento osmótico no xilema da raiz quando as plantas estão crescendo em solução salina. Como consequência a taxa de absorção de água será reduzida ou a planta será suprida pela diminuição no potencial hidrostático dentro do xilema. Em equilíbrio osmótico na folha, a diferença do potencial osmótico, deve absolutamente corresponder à diferença do potencial hidrostático entre os vacúolos das células das folhas e os líquidos circundantes. (OERTLI, 1966a, 1966b). Ainda OERTLI (1967), afirma que a diferença das pressões osmóticas entre o xilema das raízes e do meio externo depende da concentração da solução externa. Esta diferença atinge um máximo com o aumento da concentração externa e depois decresce e eventualmente torna-se negativa. A tendência da diferença do potencial está consistente com um transporte ativo de sal dentro da dinâmica de saturação no xilema e com o transporte da água estando livre do potencial osmótico e hidrostático.

Segundo GEORGE (1967), os "seedlings" de arroz em contato com a solução os íons movem-se rapidamente para dentro das células das raízes das plantas num processo de ajuste

tamento osmótico até que o equilíbrio entre as raízes e a solução externa seja estabelecido. Em plantas jovens este equilíbrio pode ser atingido em menos de 24 horas e a partir deste ponto, maiores concentrações de íons no tecido das plantas vão depender por um lado, da taxa de absorção dos íons e por outro lado da taxa de crescimento da planta (BOLLARD e BUTTER, 1966).

2.2.2.5. Produção de matéria seca

A salinidade é fator limitante à produtividade do arroz em milhões de hectares nos deltas, estuários, regiões costeiras e nos trópicos úmidos. O problema mais agravante é atribuído ao arroz irrigado nas regiões áridas e semi-áridas. Mais de 150 milhões de hectares de arroz nos trópicos e subtrópicos são afetados pela salinidade (MASSOUD, 1974).

PEARSON (1959) atribui a redução de 50% na produção do arroz à condutividade elétrica de 8 mmhos/cm a 25°C do extrato de saturação do solo. Posteriormente, PEARSON et alii (1966), verificaram que os níveis de sais 2,4; 3,9; 5,1; 6,6 e 10,5 mmhos/cm a 25°C, na irrigação da mesma cultura, reduziu a produção de matéria seca em 13, 36, 90, 95 e 99%, respectivamente.

KADDAH (1963) aplicando 500, 1000, 1500 e 2000 ppm da mistura ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) na irrigação, apenas os tratamentos 1500 e 2000 ppm mostraram redução no peso de matéria se

ca de "seedlings" de arroz. Ainda com as pressões osmóticas 0,4 e 0,8 atm na água de irrigação, resultantes dos sais NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 e MgSO_4 obteve redução no peso de matéria seca das plantas da ordem de 14 - 65%, 32 - 83%, 14 - 84%, 13 - 17% e 0 - 29% respectivamente. Com as mesmas concentrações osmóticas na água, porém, resultantes das misturas de NaCl + CaCl_2 + MgSO_4 (1:1:1); Na_2SO_4 + MgSO_4 (1:1); (NaCl + CaCl_2 + MgCl_2) + (Na_2SO_4 + MgSO_4) (7:3) e (NaCl + CaCl_2 + MgCl_2) + (Na_2SO_4 + MgSO_4) (3:7), reduziu a matéria seca em 25 - 67%, 26 - 31%, 29 - 81% e 0 - 26%, respectivamente.

De acordo com ACEVES-N et alii (1975), a sucção de -12 bares, produzida por NaCl e por CaCl_2 , reduziu a produção de trigo em relação ao controle em 86 e 98%, respectivamente, SEIFERT Jr. et alii (1975) obtiveram redução significativa na matéria seca do sorgo quando submetido a 450, 800, 1600 e 2400 ppm de sais na irrigação. WADLEIGH e AYERS (1945) constataram que 0,4% de NaCl no solo decresceu a matéria seca do feijão em 90%, o mesmo aconteceu com a sucção de -10 bares. Também O'LAERY (1975), verificou que os níveis de sais de NaCl (5600, 7000, 8400 e 9000 ppm) na irrigação do feijão, reduziu o peso de matéria seca em 60, 66, 66 e 71%, respectivamente. Já HAJRASUIHA (1980), aplicando no cultivo do feijão, soluções contendo 80 meq/l de NaCl e 80 meq/l de Na_2SO_4 , obteve redução na produção de matéria seca de 61 e 34%, respectivamente.

2.2.2.6. Desenvolvimento radicular

A salinidade do solo cria condições específicas para a existência e atividade dos microorganismos no solo. O número relativo de indivíduos de espécies diferentes, tais como actinomicetes, forma de esporos e bactérias variam devido a concentração e composição química do sal do solo, bem como devido às propriedades químicas dos exudatos das raízes. As raízes de planta crescendo sob vários tipos de salinidade, excretam diferentes substâncias, por causa de mudanças no seu metabolismo induzido por diferentes tipos de salinidade. Normalmente quando os sais totais na zona radicular da cultura excede a 0,5% em peso de solo seco é impraticável o desenvolvimento das raízes da maioria das plantas cultivadas. Solos moderadamente salinos com concentrações de 0,2 a 0,5%, são usados na agricultura, mas restringe o crescimento das raízes e dão pequenas colheitas. Quando a concentração está entre 0,1 e 0,2% é possível cultivar praticamente todas as plantas, (STROGONOV, 1964).

YOUNIS e HATATA (1971) verificaram que 50 meq/l de KCl ou de K_2SO_4 reduziu o crescimento das raízes de trigo em 15%. Porém, as concentrações de 5 meq/l de $MgCl_2$ e $MgSO_4$, reduziram o crescimento das raízes em 16 e 13%, respectivamente. GERARD (1978), afirma que o crescimento das raízes de cana-de-açúcar em solos irrigados com 1,1; 5,0 e 8,0 mmhos/cm a 25°C, variou com níveis de salinidade.

2.2.2.7. Índice de área foliar

Segundo ACEVES-N et alii (1975), a medida em que a planta vai sofrendo os efeitos da salinidade do meio a área foliar vai diminuindo e com isto decresce a quantidade de produtos fotossintetizados. Porém, JOSHI e NAIK (1980), usando quatro níveis diferentes de sais, NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 e MgSO_4 a uma condutividade elétrica de até 10 mmhos/cm a 25°C no cultivo da cana-de-açúcar, encontraram que a área foliar foi reduzida em todos os tratamentos. Entretanto, a máxima redução foi de 53 e 62% para os sais Na_2SO_4 e MgCl_2 , respectivamente.

2.2.2.8. Consumo de água pelas plantas

Consumo de água ou transpiração da cultura é um fator dominante nas relações hídricas da planta porque a evaporação da água produz um gradiente de energia que provoca o movimento da água dentro e através das plantas. Na planta, a maior quantidade de água se encontra nos vacúolos. A água que se encontra nas paredes celulares é importante como meio de transporte de solutos de uma célula à outra. As paredes, citoplasmas e vacúolos das células constituem um sistema contínuo do movimento da água através de membranas de permeabilidade diferentes que separam os solutos no citoplasma e no vacúolo do sistema hidrodinâmico geral (KRAMER, 1974).

A absorção reduzida de água pelas raízes das

plantas quando se aumenta o conteúdo salino do substrato tem sido geralmente atribuída à causa do efeito osmótico do potencial hídrico reduzido no ambiente das raízes. Quando se reduz o potencial hídrico no solo ou na solução de crescimento das plantas, também está se reduzindo a diferença de potencial que é a força propulsora da absorção, e com isto resulta numa absorção reduzida de água (KRAMER, 1974).

Segundo ACEVES-N et alii (1975), as mudanças morfológicas na planta, modifica todos os processos fisiológicos, reduz a superfície transpirante, bem como a quantidade de água transpirada. Essas mudanças também decrescem a permeabilidade das células, a água e solutos, causando variações nos componentes dos potenciais de água na planta.

EATON (1941) obteve no cultivo do milho o consumo de 171 e 319 ml de água quando as plantas foram submetidas às concentrações salinas de 1,8 e 0,3 bares, respectivamente. ACEVES-N et alii (1975) verificaram que a evapotranspiração da cultura do feijão foi reduzida em 78 e 95% quando as plantas foram submetidas à pressão osmótica de -12 bares produzidos por NaCl e CaCl₂, respectivamente. Situação semelhante é atribuída por LUNIN et alii (1961) à cultura de feijão e WEST (1978) às plantas de maçã.

PEARSON (1959) afirma que a evapotranspiração da cultura do arroz em meio salino é diretamente proporcional à quantidade total de matéria seca produzida. Idênticos resultados foram obtidos por EATON (1942) para a cultura

do milho e tomate submetidas a concentrações crescentes de NaCl. A transpiração por unidade de área foliar em várias culturas decresceu em resposta ao aumento da salinidade do meio (HOFFMAN e PHENE, 1971; JANES, 1968).

2.2.2.9. Fisiologia das plantas

As halófitas, tais como a maioria das plantas cultivadas sobrevivem em solos com níveis excessivos de sais, contudo o alto potencial osmótico do solo é fator limitante ao desenvolvimento dessas culturas. A tolerância ao sal está condicionada à capacidade da planta em manter o potencial osmótico de suas células em níveis superiores aos da solução do solo, caso contrário os sais no solo causam a desidratação parcial das células (STROGONOV, 1964).

A penetração do sal neutro no protoplasma das células das plantas é um processo fisiológico determinado pela afinidade dos sais e seus íons para os colóides das células. Os eletrólitos penetrando nas células afetam a viscosidade e o grau de dispersão dos protoplasmas. Estas mudanças ocorrem primeiro sobre a superfície do protoplasma a qual reage mais rapidamente aos íons do que o volume do protoplasma. Neste processo os lipídios da superfície do protoplasma têm um decisivo papel na absorção de sais neutros. Os cátions têm propriedades coagulantes, decrescem a permeabilidade do protoplasma aos sais, enquanto os ânions têm efeitos peptizantes sobre os plasmocoloides, aumentando sua permeabilidade aos sais (STROGONOV, 1964).

A acumulação em excesso de eletrólitos nas células das plantas, particularmente de íons tais como Na^+ ou Cl^- , resultará em mudanças progressivas na hidratação e conformação das proteínas e atividade enzimática, resultando numa gradual deslocação do metabolismo (KLÖTZ, 1958). Sob condições de forte salinidade a acumulação de ácido ribonucleico (RNA) e ácido desoxirribonucleico (DNA) é reduzida. O decréscimo do RNA é devido à intensa atividade da RNase citoplasmática e o DNA é devido à redução de sua síntese (SLATYER, 1967). O aumento da pressão osmótica citoplasmática e vacuolar é um resultado inevitável da acumulação de íons e do ajustamento osmótico que também afeta a hidratação das proteínas e a atividade enzimática (HACKETT, 1961; LATIES, 1954).

O efeito do sal sobre a planta é expresso pela mudança do estado protoplasmático celular. Como consequência o protoplasma se retrai da parede da célula, ocorre uma distribuição dos plasmodesmatas e um distúrbio das conexões intercelulares. Isto impede a cooperação normal entre as células e suas naturais interdependências em geral e a troca de água e nutrientes em particular. O distúrbio do interrelacionamento entre as células é particularmente notável nas regiões de crescimento a ponto de inibir ou mesmo interromper o crescimento. A retração do protoplasma da parede celular é um processo reversível. Quando o ambiente das plantas retorna às condições favoráveis (desalinização do substrato), o estado normal do protoplasma e as conexões intercelulares

são restabelecidas, tendo como resultado a estimulação do crescimento (STROGONOV, 1964).

Altas concentrações salinas no solo além de causar efeitos tóxicos também causam déficits no suprimento de água para as plantas, criando a chamada "seca fisiológica". Contudo é difícil de se distinguir os efeitos tóxicos dos sais do déficit de água na planta (SLATYER, 1967; STROGONOV, 1964). Ainda STROGONOV (1964), afirma que o aumento nas folhas do conteúdo dos íons de um sal causa apreciável decréscimo no conteúdo dos íons de outro sal. Com essas trocas, as folhas das plantas entoxicadas pelo sal, diminuem o grau de hidratação de seus tecidos e o conteúdo de glicose, aumentam a quantidade de aminoácidos livres e a atividade da peroxidase. A variação na composição dos aminoácidos na planta na presença do sal deve ser a causa da acumulação de substâncias tóxicas, tais como Putrescina e cadaverina.

Segundo KRAMER (1974), a acumulação de íons nos tecidos da planta é feito por transporte ativo diretamente ligado ao metabolismo. Uma teoria mais ampla supõe que os íons formam combinações temporais com moléculas orgânicas especiais chamadas portadoras, e que o complexo resultante pode mover-se através das membranas celulares que são impermeáveis aos íons isolados. Desse modo os íons se separam de seus portadores na superfície da membrana e passam aos vacúolos, onde as moléculas portadoras ficam disponíveis para transportarem mais íons.

2.2.2.10. Efeito específico dos íons

Os danos causados às plantas ou à redução em seu crescimento que não podem ser relacionados com o efeito da pressão osmótica da solução, devem ser considerados como consequência devido ao efeito tóxico do sal em estudo. A toxidez assim considerada não diz respeito a uma ação direta do sal ou íon sobre as raízes ou tecido das plantas, mas, normalmente é causada, ao menos em parte, pelos efeitos sobre a absorção ou o metabolismo dos nutrientes essenciais. Como nem sempre é possível distinguir-se o mecanismo fundamental dos efeitos específicos dos íons, é conveniente referir-se a tais fenômenos como "toxidez" em contraste com os efeitos osmóticos gerais dos sais no desenvolvimento das plantas. Um grande número de íons específicos se encontram em solução ou adsorvidos aos solos, relativamente alguns contribuem para a salinidade do solo, tais como os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ e os ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-} (RICHARDS, 1974).

2.2.2.10.1. Sódio e cloro

O sódio mesmo não sendo considerado elemento essenciais para as plantas, quando presente em pequenas concentrações no solo, pode estimular a produtividade de certos cultivos (HARMER e BENNE, 1941; HAYWARD, 1949; LEHR, 1942). O aumento de sais de NaCl no meio de crescimento da cultura aumenta o teor de Na^+ e Cl^- em suas folhas (BROWN et alii, 1953; WALLACE et alii, 1973a). EHRLER (1960) quando

usou na solução do solo as tensões de 1 e 2 atm resultantes dos sais NaCl , Na_2SO_4 e CaCl_2 na cultura do arroz, os teores de Cl^- e Na^+ nas plantas cresceram com a salinidade do solo. Embora os tratamentos tenham alterado a composição mineral das plantas, não causaram efeito específico no crescimento e produção.

SONNEVELD e VOOGT (1978) obtiveram as seguintes correlações: $Y = 0,016.X + 0,21$ com $r = 0,887$ e $Y = 0,113.X + 1,93$ com $r = 0,958$ onde X representa a concentração dos íons Na^+ e Cl^- em meq/l na água de irrigação e Y concentração dos mesmos íons nas folhas das plantas em porcentagem de matéria seca, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por HEIKAL (1977) quando usou na água de irrigação as concentrações salinas 1000, 3000 e 6000 ppm da mistura ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$).

BOWER e WADLEIGH (1949) constaram que o aumento de sódio trocável no solo sobre o acúmulo de cátion na cultura foi variável entre espécies e entre as folhas e as raízes de uma espécie. Algumas queimaduras apicais nas folhas de certas espécies estão associadas com o aumento da porcentagem do sódio trocável (DAKER, 1970). Por outro lado, RICHARDS (1974) afirma que são muito poucos os casos de toxidez causada por esse elemento porque muitas espécies tendem a excluir o Na^+ de suas folhas ainda quando podem armazená-lo em seus colmos e raízes.

BERNSTEIN (1965) afirma que quando a cultura a

cumula de 0,5 a 1% de Cl^- suas folhas apresentam sintomas de toxidez com as margens e ápices das folhas com caráter necrótico. KELLEY (1963) observou que quando o teor de Cl^- na água de irrigação excede a 5 meq/l causa queimaduras nas folhas de plantas sensíveis. Porém, os níveis de acumulação de Cl^- em que os sintomas começam a aparecer não estão bem definidos, pois folhas não atacadas têm, às vezes maior acumulação de Cl^- do que folhas atacadas (BROWN et alii, 1953).

Altas concentrações de Na^+ na solução de crescimento causam na cultura deficiência de K^+ induzida pela absorção de Na^+ , insuficiência no suprimento de Mg^{2+} e Ca^{2+} e desbalanço nutricional dentro da planta (BOWER e WADLEIGH, 1949; ELGABALY, 1955; THORNE, 1945). KELLEY (1963) afirma que se o Na^+ na água de irrigação ou na solução do solo for igual ou superior a 75% das bases trocáveis, a absorção de Na^+ pelas plantas fatalmente será excessiva.

2.2.2.10.2. Cálcio, magnésio e potássio

A toxidez causada por cálcio é de pouca importância e seus efeitos variam com as espécies vegetais. Por exemplo, plantas de linho e espécies frutíferas são mais sensíveis ao CaCl_2 do que NaCl (BROWN et alii, 1953). Segundo RICHARDS (1974) altas concentrações de Mg^{2+} no substrato são mais tóxicas às plantas do que concentrações isosmóticas de sais neutros. A toxidez do Mg^{2+} pode ser atenuada pela pre-

sença de Ca^{2+} no substrato e vice-versa. Altas concentrações de K^+ podem ser tóxicas induzindo a deficiência de Mg^{2+} nas plantas (BOYNTON e BURRELL, 1944). Segundo LUNIN et alii (1961), o conteúdo de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas folhas e colmos da cultura de feijão aumenta com o aumento desses íons no substrato.

2.2.2.10.3. Sulfato e bicarbonato

A toxidez das plantas causada por elevadas concentrações de sulfato, está associada a limitação na absorção do Ca^{2+} e no aumento nas absorções de Na^+ e K^+ alterando o balanço catiônico dentro da planta (HAYWARD e WADLEIGH, 1949; RICHARDS, 1974).

O sintoma de toxidez de sulfato consiste de amarelecimento das margens das folhas com progressão pela nervura principal seguido de necrose (BROWN et alii, 1953).

As espécies vegetais diferem notadamente em suas tolerâncias ao íon bicarbonato (HCO_3^-), o qual muitas vezes exerce efeitos tóxicos específicos que produzem danos sérios mesmo em baixas concentrações salinas. O feijão e a maçã são muito sensíveis a este íon, enquanto que a beterraba açucareira e certas gramíneas forrageiras são muito tolerantes (GAUCH e WADLEIGH, 1951).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do Trabalho

A presente pesquisa foi conduzida em casa de vegetação, localizada na área do Posto Agrometeorológico do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior da Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo, Piracicaba, apresentando as seguintes coordenadas geográficas.

Latitude: 22°42'30" S.

Longitude: 47°38'00" W.

Altitude: 576 metros.

3.2. Características Climáticas

O clima do local é do tipo Cwa pela classificação de WILHEIM e KOEPPEN (SETZER, 1966), ou seja, mesotérmico úmido subtropical com inverno seco e apresentando, segundo dados do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, os seguintes valores médios anuais: precipitação 1247 mm de chuva, distribuídos principalmente de outubro a abril; temperatura 21°C; umidade relativa do ar 69%. Por outro lado, durante a condução do experimento foram registrados os seguintes resultados médios: insolação 4,7 h/dia com oscilação de 0 - 11 h/dia; umidade relativa 67,7% com variação de 56 a 95%, temperatura 20,9°C oscilando entre 14,8 e 27,9°C e as temperaturas máximas e mínimas variaram entre 22 e 23°C e 10,2 e 21,5°C, respectivamente.

3.3. Solo

3.3.1. Tipo

Segundo a Carta de Solos do Município de Piracicaba (RANZANI et alii, 1966), o solo utilizado no presente trabalho, pertence aos Solos da Série Sertãozinho (Regossolo), os quais se originaram de arenitos glaciais da formação Itapetininga, membro Tatuí em manto espesso. Estes solos não possuem di-

ferenciação de horizontes, desfrutam de relevo normal, suavemente ondulado, muito longo e uniforme. Porém, segundo a Comissão de Solos CNEPA (BRASIL, 1960), os solos da Série Ser-tãozinho pertencem à unidade de mapeamento Regossol classifi-cados e mapeados ao nível de grande grupo. De acordo com os valores percentuais de areia, silte e argila, obtidos de aná-lise granulométrica para as profundidades de 15; 30; 45 e 60 cm do solo, todas as camadas do perfil apresentaram classi-ficação textural do tipo areia franca (Tabela 1).

3.3.2. Características Físicas

3.3.2.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica das frações minerais do solo (areia, silte e argila), foi feita em amostras de so-lo seco ao ar e à sombra, destorroado e passado em peneira com malha de 2mm, denominado de terra fina seca ao ar (TFSA). A cada amostra de 100 g de TFSA foi adicionado 15 ml de hexame-tafosfato de sódio a 5% como agente dispersante. Compeltou-se a saturação com água destilada, deixou-se em repouso duran-te seis horas e em seguida agitou-se no agitador mecânico du-rante 15 minutos. A separação das partículas foi feita atra-vés do método do Hidrômetro de Bouyoucos descrito por BOUYOU-COS (1927). Do solo, TFSA, foi determinado o teor de umidade em estufa a 105-110°C para expressar os resultados das partí-culas do solo em percentagem de terra fina seca em estufa (TFSE), cu-jos resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo

PROFUNDIDADE (cm)	GRANULOMETRIA			P.E. APARENTE (g/cm ³)	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)		
0 - 15	83,0	5,0	12,0	1,57	Areia Franca
15 - 30	76,0	3,8	20,2	1,58	Areia Franca
30 - 45	72,0	2,8	25,2	1,51	Areia Franca
45 - 60	72,8	2,0	25,2	1,55	Areia Franca

CATIONS TROCÁVEIS											
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	CTC	V (%)	pH H ₂ O 1:2,5	P	Cl ⁻
(meq/100g de TFSA)											
1,09	0,38	0,09	0,02	0,26	0,10	1,58	1,84	86	5,4	16	10
0,78	0,26	0,03	0,02	0,35	0,22	1,09	1,44	76	5,6	10	7
1,05	0,23	0,01	0,01	0,35	0,18	1,30	1,65	79	5,8	10	3
1,35	0,09	0,01	0,02	0,28	0,09	1,47	1,75	84	5,8	10	6

3.3.2.2. Peso específico aparente

Para determinação do peso específico aparente (g/cm^3), usou-se anéis volumétricos de plástico PVC com 5 cm de diâmetro e 3,5 cm de altura. Os anéis foram cravados no solo por pressão manual e com auxílio duma espátula retirou-se o excesso de modo a se obter um volume de solo idêntico ao do anel. Em seguida o solo foi transferido para latas de alumínio, pesado e colocado na estufa a 105-110°C durante o tempo suficiente para o peso do solo seco tornar-se constante. As determinações foram feitas nas profundidades do solo de 15, 30, 45 e 60 cm com três repetições cada. Os cálculos foram feitos segundo EMBRAPA (1979) e os resultados encontram-se na Tabela 1.

3.3.2.3. Curvas características de água do solo

A determinação das curvas características da água do solo foi feita em amostras deformadas e indeformadas, nos intervalos de profundidade do solo a 15, 30, 45 e 60 cm. Adotou-se o método descrito por RICHARDS (1947). Na câmara de pressão aplicou-se as tensões de 0,1; 0,3; 0,6; 0,8 e 1 atm em amostras de solo indeformadas e, na membrana de pressão aplicou-se as tensões de 3; 5 e 15 atm em amostras de solo deformadas. A Figura 1, mostra os resultados de retenção de água do solo em percentagem e em base de volume, obtidos antes do início do experimento.

Figura 1. Curvas características da água do solo.

3.3.2.4. Extrato de saturação do solo

Para o preparo da pasta, colocou-se em copo plástico uma média de 300 a 500 g de TFSA, juntou-se cuidadosamente água destilada e agitou-se com uma espátula até atingir as condições de pasta saturada, segundo procedimento descrito por RICHARDS (1974). Colocou-se um funil com papel de filtro de (Whatman nº 42) e extraiu-se a solução da pasta saturada com o uso duma bomba de vácuo, obtendo-se assim o extrato de saturação do solo.

3.3.3. Características químicas

Para a extração e determinação de alguns elementos do solo, procurou-se seguir a metodologia descrita pela EMBRAPA (1979). As bases trocáveis cálcio, magnésio, potássio e sódio foram extraídas com solução de HCl 0,05N; o fósforo assimilável com H_2SO_4 0,05N e o cloro em água a 100°C. O cálcio, magnésio e o cloro foram determinados por espectrometria de absorção atômica; o potássio e o sódio por fotometria de chama e o fósforo pelo método fotocolorimétrico. A extração do $H^+ + Al^{3+}$ foi feita em KCl 1N não tamponado, determinados pelo método volumétrico e titulado com hidróxido de sódio. O Al^{3+} foi extraído com solução de KCl 1N, e a acidez re

sultante da hidrólise do alumínio e do deslocamento do hidrogênio trocável foi dosado com solução de NaOH 0,05N.. Cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

A determinação do pH em água foi feita potenciometricamente, numa suspensão solo-líquido, na proporção de 1:2,5 e tempo de contato de quatro horas, agitando-se a suspensão imediatamente antes da leitura. Cada determinação foi efetuada com três repetições, tomando-se o cuidado de deixar o eletrodo de vidro imerso no solo e o de calomelano no líquido sobrenadante (EMBRAPA, 1979).

O extrato do solo para fins de análise química foi obtido pela relação solo:água de 1:1; agitando-se durante 24 horas de acordo com FASSBENDER (1975), para o equilíbrio entre a fase sólida e líquida do solo. As determinações dos elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} e Cl^{-} foram feitas conforme descrito acima. Do extrato da pasta saturada do solo determinou-se por titulação com H_2SO_4 0,01N o bicarbonato segundo procedimento descrito por RICHARDS (1974). Os resultados dos elementos das soluções do solo em estudo encontram-se na Tabela 2.

3.4. Cultura

No trabalho foi usado a cultura do arroz, cultivar IAC-47. O teste de resistência à salinidade foi feito segundo metodo-

Tabela 2. Resultado de alguns elementos na solução do solo e da relação de adsorção de sódio (RAS).

ELEMENTOS	PROFUNDIDADE - CM	
	0 - 30	30 - 60
Ca ²⁺ meq/l	0,78	0,31
Mg ²⁺ meq/l	0,44	0,10
K ⁺ m meq/l	0,67	0,03
Na ⁺ meq/l	0,18	0,34
Cl ⁻ meq/l	0,23	0,46
HCO ₃ ⁻ meq/l	0,61	0,45
Ras (mmol/l) ^{1/2}	0,23	0,75

logia apresentada por PONNAMPERUMA (1977), o qual se baseia na percentagem de folhas mortas e indicou tratar-se de uma cultura tolerante a salinidade, recebendo a nota três na tabela de classificação. A cultivar IAC-47 foi desenvolvida pelo Instituto Agronômico de Campinas, a partir do cruzamento artificial entre a cultivar IAC-1246 e a linhagem 587391, cuja finalidade foi incorporar maior resistência à mancha estreita (*Cercospora oryzae*). É uma cultura de ciclo médio (130 - 135 dias), porte médio (115 - 120 cm), baixo perfilhamento e grão do tipo longo. É uma cultivar típica de arroz de sequeiro (BANZATTO et alii, 1978).

3.5. Procedimento Experimental

3.5.1. Preparo do solo

O solo coletado, foi posto em vasos plásticos, de PVC, com 27 cm de diâmetro e 65 cm de altura. Na parte inferior do vaso continha uma camada de cinco centímetros de areia e brita para facilitar a drenagem do solo e nesse local fez-se um furo no vaso onde se colocou um tubo de alumínio que foi conectado através de uma mangueira plástica a uma garrafa de vidro para a coleta do excesso de água drenado. Para coletar o solo, usou-se um tubo matriz de igual diâmetro dos vasos, o qual se introduziu no perfil do solo pressionando e girando-o com a mão e com a ajuda de uma espátula até a profundidade dos 60 cm. Em seguida as colunas de solo foram transferidas cuidadosamente para os vasos de PVC de modo que não houvesse modificação na posição das camadas, bem como na sua estrutura original. Após a coleta, os vasos foram conduzidos para a área experimental onde permaneceram sob condições ambientais durante um ano antes do início do experimento. O peso médio de cada coluna de solo foi de 53 Kg. Antes do plantio, foi aplicada uma adubação básica de 50 g/vaso, da mistura de adubos químicos da fórmula 10-10-10. Após 15 dias da germinação das sementes foi aplicado 0,265 g/vaso de sulfato de zinco, para fornecer à cultura melhores condições de desenvolvimento.

3.5.2. Plantio

O plantio foi realizado em 26.10.81, colocando-se 15 sementes por vaso. O desbaste foi feito aos 20 dias após a germinação deixando-se três plantas por vaso, o que correspondia a uma densidade de 52 plantas por metro quadrado. Antes do controle dos tratamentos, o experimento foi irrigado com água natural cuja análise se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Análise química da água natural

Ca ²⁺ ppm	11,14	Cl ⁻ ppm	1,82
Mg ²⁺ ppm	5,00	HCO ₃ ⁻ meq/l	0,15
K ⁺ ppm	1,35	P ppm	0,10
Na ⁺ ppm	2,63	pH -	6,15
NO ₃ ⁻ ppm	0,05	CE mmhos/cm	0,20
SO ₄ ²⁻ ppm	58,30	RAS (mmol/l) ^{1/2}	0,16

Ressalta-se porém, que antes do início do experimento foram feitos os testes de germinação com o mesmo solo e as soluções salinas que definiram os tratamentos. Os testes foram feitos em bandejas plásticas onde colocou-se 100 sementes com três repetições por tratamento.

3.5.3. Tratamentos

Com base na participação dos principais cons-

tituintes solúveis encontrados nas águas de poços e rios, usadas para irrigação no Nordeste do Brasil (CRUZ e FERREIRA DE MELO, 1969; MATSUI, 1978; SALATI et alii, 1979; SOUSA FRANCISCO, 1959; SOUZA, 1971), os tratamentos foram definidos pela adição de sais solúveis à água natural, cuja análise se encontra na Tabela 3. As quantidades de sais solúveis adicionadas à água para definir os tratamentos foram de 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de uma mistura de 50% de cloreto de sódio (NaCl), 15% de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), 15% de sulfato de cálcio (CaSO_4), 10% de sulfato de magnésio (MgSO_4) e 10% de cloreto de cálcio (CaCl_2) quimicamente puros. Percentualmente cada elemento adicionado correspondia a 36,8%, 23,8%, 18,6%, 10,9%, 7,8% e 2,1% de Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , respectivamente.

Os tratamentos caracterizados foram os seguintes:

Trat. 1 - refere-se aos vasos que receberam água natural

Trat. 2 - refere-se aos vasos que receberam 2000 ppm de sais solúveis

Trat. 3 - refere-se aos vasos que receberam 4000 ppm de sais solúveis

Trat. 4 - refere-se aos vasos que receberam 6000 ppm de sais solúveis

Trat. 5 - refere-se aos vasos que receberam 8000 ppm de sais solúveis.

3.5.4..Delineamento experimental

O delineamento experimental é o de blocos inteiramente casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada parcela consta de um vaso de PVC de 27 cm de diâmetro por 65 cm de altura colocado em casa de vegetação.

De acordo com o delineamento experimental, segundo PIMENTEL GOMES (1973), foram feitas as análises de variância dos sais do solo, condutividade elétrica, água disponível, evapotranspiração, desenvolvimento vegetativo e teores de nutrientes obtidos na planta. Ajustou-se as equações de regressão aos dados dos níveis de sais usados na água de irrigação.

3.6. Irrigação e Drenagem

O controle das irrigações dos tratamentos com as soluções salinas iniciou aos 25 dias após a germinação. A água foi aplicada volumetricamente através de proveta graduada. A quantidade aplicada em cada irrigação era suficiente para que a coluna de solo drenasse, deixando assim o solo em sua capacidade máxima de retenção de água sob condições de livre drenagem. O excesso de água drenado era coletado em garrafas de vidro, quantificado e restituído em seu próprio vaso na irrigação seguinte. Durante as fases vegetativa e reprodutiva, houve a necessidade de se aplicar até 2 irrigações diárias nos dias de elevada demanda evaporativa para evitar que as plantas sofressem déficit hídrico.

Para lixiviação dos sais solúveis do solo após o término do experimento, aplicou-se consecutivamente lâminas de 40 mm d'água natural, considerada de boa qualidade para irrigação (Tabela 3) até que houvesse uma drenagem de 440 mm de lâmina d'água. A escolha de se fazer a lavagem do solo com apenas 440 mm d'água se reflete da necessidade do aproveitamento da água de chuva das regiões do Nordeste do Brasil para lixiviar os sais do solo que fora irrigado com água considerada salina quando do período de estiagens prolongadas.

3.7. Colheita e Análise

As plantas dos vasos que receberam maiores concentrações salinas (Trat. 4 e 5) não produziram panículas e, portanto sua colheita foi realizada quando grande parte de seus perfilhos estavam mortos e os outros com sintomas de maturidade. Os demais vasos foram colhidos quando 2/3 das panículas estavam maduras (EMBRAPA, 1977). As partes das plantas raízes, colmos, folhas, raquis e grãos, foram colhidas separadamente, lavadas em água destilada, colocadas em saco de papel, identificadas e secadas em estufa a 70°C até o peso tornar-se constante. As raízes foram separadas do solo em peneira de malha de 2 mm e com aplicação de água corrente, segundo metodologia usada por VEIGA e OLIVEIRA (1976).

Após o material haver secado, foi pesado e moído em moinho Wiley e passado em peneira de malha de 0,25 mm

(peneira nº 60). Para fins de análise química. Os elementos foram extraídos do material seco e moído por digestão nitroperclórica. O potássio, o sódio e o magnésio foram determinados por emissão atômica, o enxofre por turbidimetria e o cloro por colorimetria.

3.8. Parâmetros Analisados

3.8.1. Solo

Soma das bases trováveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação de bases (V%), cloro, reação do solo (pH) e relação de adsorção de sódio (RAS), determinados segundo EMBRAPA (1977). A RAS, foi calculada pela equação:

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

onde o RAS é expressa em $(mmol/l)^{1/2}$; o Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} em meq/l, contidos no extrato de saturação do solo.

Os sais totais do solo foram estimados indiretamente a partir da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, de acordo com U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954) dos Estados Unidos. A condutividade elétrica

(mmhos/cm a 25°C) do extrato de saturação e da água de drenagem foi obtida com auxílio do condutivímetro HACH CONDUCTIVITY METER.

3.8.2. Planta

3.8.2.1. Fenologia

Os dados dos sintomas de toxidez apresentados pela cultura foram registrados de acordo com a aparência visual externada pelas plantas em cada tratamento. O crescimento da cultura, em cm, foi determinado com uma régua graduada tendo como referência a superfície do solo e a extremidade das panículas dos colmos mais altos e, o resultado representa uma média de três plantas por vaso medidas em intervalos de 10 a 15 dias durante o ciclo da cultura. Por ocasião da tomada das alturas das plantas fez-se a contagem do número de perfilhos por vaso e os resultados expressos em número de perfilhos por metro quadrado. O ciclo da cultura foi considerado como sendo o número de dias entre o plantio e a colheita; segundo EMBRAPA (1977).

3.8.2.2. Índice e duração da área foliar

Para determinação do índice da área foliar (IAF) e da duração da área foliar (DAF), procedeu-se de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1977). O IAF, foi determinado em intervalos de 10 a 15 dias durante o ciclo da cultura, usando-se a seguinte relação:

$$IAF = \frac{AF \times NP}{1.m^2 \text{ do solo}} \quad (2)$$

onde, o IAF, em m^2 de área foliar/ m^2 de área de solo; AF é a área foliar de um perfilho, em m^2 ; NP é o número de perfilhos por metro quadrado de solo. A área foliar de um perfilho resulta da soma da área de todas as folhas do perfilho, sendo a AF determinada pela equação:

$$AF = C.L.K. \quad (3)$$

onde, C é a medida da maior largura da folha, em m; L é o comprimento da folha em m; K é um fator de correção o qual recebe o valor 0,75. A área foliar de um perfilho representa a média da área foliar de três perfilhos por vaso.

A DAF, expressa em $m^2.m^{-2}.dia$, resultou da integração da curva do índice de área foliar (IAF) em função do tempo determinada para cada tratamento.

3.8.2.3. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca (g/vaso) foi determinada para as diversas partes da planta, raiz, colmo, folhas raquis e grãos, após o material haver sido secado em estufa a 70°C.

3.8.2.4. Evapotranspiração e eficiência de consumo

A evapotranspiração foi determinada pela diferença diária entre a quantidade de água aplicada na irrigação e o excesso drenado e, os resultados expressos em mm/ciclo. A eficiência de consumo foi considerado como sendo a relação entre a quantidade de água consumida pelas plantas e a matéria seca produzida (mm/g de M.S.) em cada tratamento.

3.8.2.5. Teores e quantidades dos elementos

Os elementos sódio, cloro, enxofre, potássio, cálcio e magnésio foram expressos em percentagem das diversas partes da planta, folhas, colmos e raízes e quantidade total (mg/vaso) contidos na matéria seca das plantas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito dos Tratamentos Sobre o Solo

4.1.1. Características químicas

Os resultados referentes às análises de algumas características químicas do solo tais como bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação de bases (V%), clo-ro, bicarbonato, pH do solo e relação adsorção de sódio (RAS), encontram-se nas Tabelas 4 e 5. A análise desses dados mostra que houve uma tendência dos valores de S, CTC e V% a aumentarem em função dos crescentes níveis de sais na água de irrigação. Esses aumentos, possivelmente, tenham sido em decorrência da participação de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ em 7,8%, 2,1% e 23,8% respectivamente, na mistura da solução que definiram os tratamentos. Isto deveria corresponder à parcela da quantidade do elemento, aplicada em cada

tratamento que não foi absorvida pela cultura. Idênticas considerações devem ser atribuídas para explicar o aumento de Cl^- , haja visto que esse elemento teve uma participação na mistura da solução salina de 36,8%. Resultados semelhantes com relação ao Na^+ , Mg^{2+} e Cl^- foram obtidos por LONGENECKER (1973).

Com relação ao potássio seu teor aumentou no solo com os tratamentos. Porém, como esse elemento não participou da mistura da solução que compunha os tratamentos há de se supor que seu aumento esteja relacionado com a quantidade de K^+ absorvida pelas plantas (Figura 24). Onde verifica-se que a absorção de K^+ decresceu significativamente com o aumento nos níveis de sais na água de irrigação. O teor de bicarbonato no extrato de saturação do solo decresceu com os tratamentos. Porém, tendo esse íon (HCO_3^-) participado com 10,9% na mistura da concentração salina deveria aumentar seu teor na solução do solo.

O pH do solo variou pouco entre os tratamentos, porém com tendência de diminuir com o aumento da salinidade da água de irrigação. Segundo FASSBENDER (1975) o pH de uma susensão diminui ao se aumentar a concentração de sais neutros como NaCl e CaSO_4 . Esse comportamento do pH está condizente com os resultados obtidos por (CROWTHER, 1925; HASSAN et alii, 1960; PIERRE, 1925). O pH do solo pode ser influenciado pelo tipo de solo e minerais presentes, bases trocáveis, ti-

Tabela 4. Características químicas do solo.

Tratamento (ppm)	CÂTIONS TROCÁVEIS								V (%)	pH H ₂ O 1:2,5 ppm	Cl ⁻ -----
---------------------	-------------------	--	--	--	--	--	--	--	----------	--	--

po e quantidade de sais solúveis e quantidade de água (PURI e ASGHAR, 1938; PURI e SARUP, 1938; RICHARDS, 1974).

O valor da relação de adsorção de sódio (RAS), conforme era esperado, cresceu com o aumento dos níveis de sais usados na água de irrigação, Tabela 5. Possivelmente, a participação de Na^+ em 23,8% na mistura salina dos tratamentos; tenha sido a causa de seu aumento em relação às demais bases trocáveis no extrato de saturação do solo e por conseguinte aumentou a RAS em função dos tratamentos (Tabela 5). Idênticos resultados foram obtidos por LONGENECKER (1973), para a percentagem de sódio trocável.

4.1.2. Acúmulo de sais no solo

Na Tabela 6 estão os resultados relativos ao acúmulo de sais solúveis no perfil do solo. Através da análise; observa-se conforme era de se esperar que o acúmulo de sai solúveis no solo aumentou em função dos crescentes níveis de sais usados na água de irrigação. Porém, os resultados mostram que houve uma clara evidência da maior quantidade de sais se concentrar nos 15 cm superficiais do perfil do solo. Esse aumento da concentração salina na parte superficial do solo, provavelmente, está relacionado com maior concentração, das raízes nessa camada onde a perda de água pela evapotranspiração da cultura é maior aumentando o fluxo ascendente e, conseqüentemente concentrado os sais nessa região do perfil.

Tabela 5. Análise do extrato de saturação do solo.

Tratamento (ppm)	EXTRATO DE SATURAÇÃO				
	CÂTIONS		ÂNIONS		RAS (mmol/l) ^{1/2}
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	
				HCO ₃ ⁻	
	(meq/l)				
CONTROLE	4,96	0,98	0,94	0,38	0,67
2.000	12,07	6,16	35,82	38,39	0,54
4.000	17,26	10,31	51,48	58,42	0,48
6.000	14,73	8,28	38,18	42,56	0,28
8.000	18,67	10,41	51,07	58,60	0,35
					13,39

Tabela 6. Resultados dos sais solúveis totais no perfil do solo expressos em partes por milhão (ppm).

TRATAMENTO	PROFUNDIDADE DO SOLO - CM			
	0 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
CONTROLE	819	960	1664	1133
2000	15600	12800	15360	11520
4000	24000	14976	16320	18240
6000	25920	16896	18624	18624
8000	27264	17280	21120	18816

CARTER e WIEGAND (1965), também verificaram essa variação na concentração de sais no perfil de solos salinos. Concordando com os resultados obtidos estão os trabalhos de HIPPEL e GERARD (1973) no cultivo de algodão e trigo, HUMMADI et alii (1975) na alface, KADDAH (1963) na cultura de arroz e SEIFERT jr. et alii (1975) na cultura de trigo.

A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que o acúmulo dos sais solúveis no solo cresceu significativamente numa relação quadrática em função dos níveis de sais usados na água de irrigação (Figura 2). Porém, os pesquisadores KELLEY (1963) e SHALHEVET (1973), afirmam que se a quantidade de água aplicada ao solo for igual a evapotranspiração das plantas, como foi o caso em estudo, a acumulação de sais no solo estará linearmente relacionada com as

Figura 2. Relação entre o acúmulo dos sais solúveis totais no perfil do solo e os níveis de sais usados na água de irrigação, após o ciclo da cultura.

concentrações de sais usados na água aplicada. Entretanto, o efeito quadrático obtido no presente trabalho, relativo ao acúmulo de sais no solo, discordantes das considerações dos pesquisadores acima referidos, justifica-se pelo fato de que a quantidade de água exigida pelas plantas não foi igual para todos os tratamentos (Tabela 7). Contudo, o efeito quadrático teve a participação da componente linear em 79,8% (Tabela 9 no Apêndice).

4.1.3. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e da água de drenagem

Os resultados concernentes à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), são apresentados na Figura 3. A análise da equação de regressão e coeficiente de determinação mostra que a CEes cresceu significativamente em função dos níveis de sais usados na água de irrigação numa relação de natureza cúbica. O ajustamento dos resultados a uma função cúbica discorda dos trabalhos de SONNEVELD e VOOGT (1978), quando obtiveram efeito linear entre a CEes e a condutividade elétrica da água de irrigação (CEai). Entretanto, a função cúbica obtida teve a participação das componentes linear e quadrática em 79,7% e 97,5%, respectivamente (Tabela 10 no Apêndice).

A Figura 4 mostra os resultados da condutividade elétrica da água de drenagem (CEd) do solo após a colheita

Figura 3. Relação entre a conduividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e os níveis de sais totais na água de irrigação, após o ciclo da cultura.

Figura 4. Relação entre a condutividade elétrica da água de drenagem do solo (CEd) e da água de irrigação (CEai), após o ciclo da cultura.

da cultura. Através da equação de regressão e coeficiente de correlação observa-se que a CEd variou linearmente com a CEai dos tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por KADDAH (1963), LONGENECKER (1973), SONNEVELD e VOOGT (1978).

4.1.4. Drenagem do solo

A drenagem ou lavagem do perfil do solo apresentada na Figura 5, permite constatar através das equações de regressão e coeficiente de determinação que a condutividade elétrica da água drenada (CEd) decresceu inversamente em função da quantidade de água aplicada para fazer a lavagem do solo. Quando se usa na drenagem do solo água de boa qualidade é uma decorrência lógica que a CEd decresça com o aumento da água drenada. Isto porque os sais solúveis que são responsáveis pela condutividade elétrica da solução do solo (CEss) são carreados ou lixiviados à medida em que se faz a lavagem do perfil do solo. Com lavagens contínuas a CEss ou a CEd tende a se aproximar ou mesmo a se igualar à condutividade elétrica da água aplicada (CEaa), ao solo. Considerações nesse sentido têm sido retratadas por diversos pesquisadores, entre eles (BERNSTEIN, 1974; KELLEY et alii, 1949; SHALHEVET, 1973).

Considerando-se a lavagem do solo por tratamento em separado, pode-se constatar através da Figura 5, que o solo que recebeu 2000 ppm de sais solúveis na água de irrigação necessitou apenas de 250 mm de água drenada para que sua

CEd decrescesse de aproximadamente 16 para 2 mmhos/cm a 25°C. Porém, para o solo que recebeu irrigação com 4000 ppm de sais solúveis necessitou de 400 mm de água drenada para que sua CEd baixasse de 27 para 2 mmhos/cm a 25°C. Já o solo que recebeu na irrigação água com 6000 ppm de sais solúveis precisou de 440 mm de água drenada para que sua CEd decesse de 36 para 2 mmhos/cm a 25°C. Segundo DAKER (1970) e RICHARDS (1974), uma solução com condutividade elétrica de 2 mmhos/cm a 25°C é considerada não salina para o desenvolvimento das culturas.

Entretanto, os 440 mm de drenagem do solo que recebeu 8000 ppm de sais solúveis nas irrigações reduziram sua CEd de 40 para 5 mmhos/cm a 25°C. Com esse resultado haveria necessidade de se continuar com a lavagem dos sais do solo, pois, esse valor é considerado uma salinidade média e os rendimentos de várias culturas podem ser afetados (DAKER, 1970; RICHARDS, 1974). Porém, com base na equação de regressão obtida para o solo do mesmo tratamento (Figura 5), haveria necessidade de se fazer a drenagem de mais 260 mm para que sua CEd teoricamente atingisse os 2 mmhos/cm a 25°C.

Em todos os casos da drenagem do solo o efeito foi significativo e de natureza quadrática, exceto para a drenagem do solo do tratamento controle que apresentou efeito linear (Figura 5). A análise da variância (Tabela 11 no Apêndice) mostra que o efeito quadrático teve a participação da componente linear em 87, 91, 96 e 96% para a drenagem dos solos que foram irrigados anteriormente com as soluções contendo 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais solúveis, respectivamente.

Figura 5. Relação entre a condutividade elétrica da água drenada (CEd) e a quantidade de água aplicada para lixiviar os sais do solo, após o ciclo da cultura.

4.1.5. Capacidade de retenção de água pelo solo

A Figura 6, apresenta as curvas características da água do solo. Os resultados obtidos mostram que os crescentes níveis de sais usados na água de irrigação afetaram desfavoravelmente a capacidade de retenção de água pelo solo. Porém, os efeitos praticamente deixaram de existir quando o solo foi submetido a tensões (sucções) superiores a duas atmosferas. Entretanto, para tensões menores houve apreciável variação no armazenamento de umidade do solo entre os tratamentos. Possivelmente, devido à participação do sódio na mistura que definiu os tratamentos, ter sido maior do que os demais cátions, tenha causado a modificação da estrutura do solo, destruindo parte de seus agregados. A influência do sódio também pode ser visualizada através da Tabela 4, onde esse elemento corresponde a 50% dos cátions trocáveis, o que representa um valor bastante comprometedor à quebra da estrutura do solo.

BAVER et alii, (1972), mostram que a água de irrigação com teores elevados de Na^+ em relação aos cátions bivalentes pode causar a deteriorização das propriedades físicas do solo. KELLEY (1963) afirma que as condições físicas do solo são modificadas pelos sais solúveis, resultante de troca de cátions, onde o sódio tende a substituir o cálcio que é lixiviado com chuvas ou irrigação resultando na dispersão do solo. BLACK (1975) acha que o efeito na dispersão é

Figura 6. Curvas características de retenção de água pelo solo.

atribuído a uma combinação das diferentes forças de atração e repulsão, relacionados com os íons sódio e cálcio.

Segundo a teoria de EDWARDS e BREMNER (1967) sobre microagregados a união primária das unidades estruturais é feita por cátions polivalentes associado com argila e matéria orgânica onde estes cátions estão ligados eletrostaticamente aos sítios de troca catiônica. Porém, o sódio possui a propriedade de romper as ligações quando substitui o cátion polivalente. Com isto, à medida em que se aumenta a proporção de Na^+ em relação aos cátions trocáveis, aumenta-se a quantidade de ligações quebradas e os agregados se expandem em maior grau.

Quanto mais disperso for o solo menos será sua capacidade de retenção. Porquanto, a retenção de água é um fenômeno de superfície (forças de coesão e adesão). A coesão varia inversamente com o teor de umidade do solo, devido ao decréscimo na espessura dos filmes de água onde essa força está atuando (BAVER et alii, 1972). Disto pode-se afirmar que estando o solo em estádios de desagregação distintos, eliminará diferentes quantidades de água quando submetido a uma mesma tensão negativa (sucção).

Com tensões inferiores a -2 atm, provavelmente a retenção de água do solo tenha sofrido o efeito da força de adesão a qual passa a atuar a partir do conteúdo de umidade do solo em que a coesão é máxima. A adesão é diretamente proporcional à tensão superficial do líquido disperso e seu cam-

po de ação depende do conteúdo de argila que determina o número de filmes e a quantidade de água que regula a espessura do filme (BAVER et alii, 1972). Portanto, estando os filmes de água condicionados apenas à força de atração pelas partículas do solo, não haveria diferença na extração de umidade dos solos entre os tratamentos quando submetidos a uma mesma tensão.

Porém, a análise de regressão e coeficiente de correlação, mostram que o teor de umidade disponível no solo decresceu com o aumento dos sais solúveis totais do solo (Figura 7). A baixa capacidade de retenção de água em solos salinos tem sido atribuída por HEGDE e JOSHI (1974); e QAYYUM e KEMPER (1963) ao alto teor de sais solúveis presentes no perfil do solo.

4.2. Efeito dos Tratamentos Sobre a Cultura

4.2.1. Germinação das sementes

Os testes de germinação realizados antes do início do experimento mostraram que os níveis de sais 6000 e 8000 ppm na água de irrigação reduziram a germinação em 30% e retardaram o período de germinação em 80% em relação ao tratamento controle. Porém, os tratamentos de menores níveis de sais praticamente não apresentaram efeito sobre o tempo e a percentagem de germinação. Resultados similares foram obti -

Figura 7. Relação entre a umidade disponível no solo submetido as tensões (sucções) -0,1 e -15 atm e os sais solúveis totais do solo.

dos por (KÁDDAH, 1963; PALIWAL e MEHATA, 1973; PEARSON et alii, 1966). De acordo com STROGONOV (1964), é possível que a concentração da solução do solo seja a principal causa da redução e atraso no período de germinação das sementes.

4.2.2. Sintomas de toxidez

Os primeiros sintomas de toxidez apresentados pelas plantas começaram a aparecer cerca de seis dias após o início dos tratamentos, exceto para as plantas do tratamento de 2000 ppm de sais que só mostraram esses sintomas cerca de um mês após o início das irrigações salinas. Inicialmente as folhas das plantas mostravam-se mais grossas e com uma coloração verde azulada seguida de secamento do ápice e margens, caminhando para o interior da folha chegando mesmo a mata-la por completo. O problema foi cada vez mais agravante à medida em que crescia o nível de salinidade da solução. Segundo RICHARDS (1974), a coloração verde azulada, apresentada por várias culturas em meio salino, resulta de uma cobertura cerosa sobre a superfície das folhas e a cor mais escura se deve a um aumento no conteúdo de clorofila. Possivelmente, o Na^+ e o Cl^- tenham contribuído para a toxidez das plantas, pois, seus teores nas folhas (Tabela 8), estão em níveis superiores aos apresentados por BERNSTEIN (1974).

Um outro sintoma característico apresentado pelas plantas foi o de enrolamento das folhas em forma de cartu

cho. Este sintoma também foi observado por BLACK (1975). Possivelmente as plantas tenham encontrado dificuldades em extrair água dos substratos salinos para suprir suas necessidades hídricas. É provável, tratar-se de uma condição própria da planta em restringir sua área transpirante para reduzir as perdas de água por transpiração. Pois, esse sintoma intensificava-se com o aumento da temperatura e muitas plantas voltavam às suas posições normais nas horas mais frias do dia. O grau de incidência desse sintoma cresceu com os níveis de sais usados na água de irrigação. Segundo STROGONOV (1964) e SLATYER (1967), a salinidade do solo além de causar efeitos tóxicos também causa déficit no suprimento de água para as plantas criando a chamada "seca fisiológica".

4.2.3. Altura e perfilhamento

Os valores médios da altura das plantas e do perfilhamento da cultura nos diversos tratamentos podem ser observados na Tabela 7. A equação de regressão e o coeficiente de determinação mostram que a altura das plantas decresceu inversamente aos níveis crescentes de sais usados na água de irrigação, tendo o efeito sido de natureza quadrática (Figura 8). Existe uma série de controvérsias entre os pesquisadores que discutem a respeito da redução no crescimento das plantas em meio salino. Muitos atribuem o problema à redução na energia livre da água provocada pela presença dos sais em so-

Figura 8. Relação entre o crescimento das plantas e os níveis de sais na água de irrigação.

lução (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958; EATON, 1941; HAYWARD e SPURR, 1944; STROGONOV, 1964). Outros, BERNSTEIN (1961, 1963), JANNES (1966) e SLATYER (1961), acham que o efeito é devido ao ajustamento osmótico. ACEVES-N et alii (1975) e OERTLI (1968) atribuem o fato a modificação na atividade metabólica das paredes celulares.

Com relação ao perfilhamento da cultura, pode-se observar através da equação de regressão e coeficiente de determinação que o número de perfilhos diminui com o aumento na concentração de sais usados nos tratamentos, tendo sido o efeito de natureza cúbica (Figura 9). Resultados idênticos foram obtidos por PEARSON (1959). Possivelmente os fatores que levaram a reduzir o número de perfilhos entre os tratamentos estejam ligados às considerações dos pesquisadores com respeito ao crescimento da cultura.

4.2.4. Índice e duração da área foliar

Na Figura 10 estão os resultados dos índices de área foliar (IAF) da cultura relativos ao tempo. Em todos os tratamentos o IAF cresceu em função do tempo e atingiu valores máximos em período distinto para cada tratamento e, em seguida passou a decrescer até o final do ciclo da cultura. Os valores máximos do IAF correspondem à época em que as plantas apresentavam-se com maior número de perfilhos e folhas fotossinteticamente ativas. Quando a folha completa sua maturi

Figura 9. Relação entre o número de perfilhos e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 10. Efeito da salinidade no desenvolvimento do índice de área foliar (IAF).

dade ela deixa de realizar a fotossíntese e paralisa suas funções metabólicas e com isto o IAF decresce. Este mesmo comportamento do IAF também foi constatado por STONE (1979), usando níveis de adubação nitrogenada na cultura do arroz. Dos resultados verifica-se que houve um acentuado efeito dos sais sobre o IAF das plantas, corroborando de certo modo com as considerações de ACEVES-N et alii (1975) e com os resultados obtidos por JOSHI e NAIK (1980) na cana de açúcar.

A duração da área foliar (DAF) também foi bastante afetada pelo efeito dos sais o que normalmente deveria ocorrer visto que o DAF é função do IAF e do tempo. As relações entre a DAF e os tratamentos estão apresentadas graficamente na Figura 11. A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que a DAF decresceu com o aumento dos níveis de sais dos tratamentos e que o efeito foi significativo e de natureza quadrática. A análise mostra que o efeito quadrático teve a participação da componente linear em 89% (Tabela 12 no Apêndice).

4.2.5. Produção de matéria seca

Os resultados médios da produção de matéria seca (M.S.) da cultura estão apresentados na Tabela 7. Observe-se que a M.S. sofreu efeito desfavorável pela presença dos sais na água de irrigação. Ressalta-se, que apenas o tratamento que recebeu 2000 ppm de sais produziu panículas e

Figura 11. Relação entre a duração da área foliar (DAF) da cultura e os níveis de sais na água de irrigação.

grãos, dos quais 70% foram chochos. O efeito da salinidade sobre a produção de grãos também foi constatado por EHRLER e BERNSTEIN (1958), PEARSON (1959) e ACEVES-N et alii (1975).

A equação de resposta entre a produção de M.S. da cultura como função dos níveis de sais usados nos tratamentos, mostra que os dados se ajustaram a uma função cúbica (Figura 12). O efeito foi altamente significativo e teve a participação da componente linear e quadrática em 92,1 e 98,7%, respectivamente (Tabela 13 no Apêndice). EATON (1942) verificou que o peso de M.S. em várias culturas diminuiu com o aumento da salinidade de 0,50 a 150 meq/l de NaCl. Idênticos resultados foram obtidos por HASSAN et alii (1970), ao apresentarem o modelo matemático de $Y = b_0 + b_1.X + b_2.X^2 + b_3.X^3$, onde X = condutividade elétrica em mmhos/cm a 25°C, como análise da influência da salinidade do solo sobre a produção de M.S. da cultura de cevada.

A análise da Tabela 7, mostra que a produção de M.S. da parte aérea das plantas, em relação ao tratamento controle, foi reduzida em 29, 68, 86 e 89% e a das raízes em 63, 88, 94 e 96% para os tratamentos 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais, respectivamente. Estes resultados podem ser explicados através das considerações feitas para a redução no crescimento das plantas e o número de perfilhos. Isto pelo fato de que se os níveis de sais reduziram o crescimento das plantas bem como o número de perfilhos é evidente que a produção de M.S. também tenha sido afetada na mesma ordem de grandeza.

Figura 12. Relação entre a produção de matéria seca da cultura e os níveis de sais na água de irrigação.

Os resultados obtidos confirmam aqueles encontrados por diversos pesquisadores (BERNSTEIN, 1974; BROWN e HAYWARD, 1956; EHRLER, 1960; KADDAH, 1963; PALFI, 1965; PEARSON et alii, 1966), quando usaram vários níveis de salinidade na irrigação do cultivo do arroz.

4.2.6. Evapotranspiração e eficiência de consumo

Na Tabela 7 estão os resultados médios da evapotranspiração e da eficiência de consumo de água pelas plantas.

Através da equação de regressão e do coeficiente de determinação verifica-se que a evapotranspiração da cultura decresceu com o aumento dos sais usados na água de irrigação. O efeito foi de natureza quadrática com bom ajustamento dos dados à curva conforme mostra a Figura 13. O desdobramento da análise da variância mostra que o efeito quadrático teve a participação da componente linear em 89% (Tabela 12 no Apêndice). A redução no consumo de água pelas plantas, provavelmente está associada à redução na área transpirante, visto que houve decréscimo significativo no crescimento da cultura e na duração da área foliar (Figuras 8 e 11) entre os tratamentos.

O decréscimo no consumo de água por várias culturas como o algodão, arroz, feijão, milho, trigo, etc., tem sido observado por (ACEVES-N et alii, 1975; EATON, 1941; HOF-

Figura 13. Relação entre a evapotranspiração da cultura e os níveis de sais na água de irrigação.

FMAN e PHENE, 1971; JANES, 1968; STROGONOV, 1964). Segundo ACEVES-N et alii (1975) e STROGONOV (1964), a principal causa é provocada pelas mudanças morfológicas da planta, interferindo nos processos fisiológicos e reduzindo a superfície transpirante da cultura.

Quando a duração da área foliar foi analisada em função da evapotranspiração da cultura, constatou-se através da equação de regressão que o efeito foi linear positivo com os dados estreitamente correlacionados (Figura 14). Semelhante comportamento foi constatado por OLIVEIRA (1980) para a mesma cultura, submetida a diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Os resultados da produção de matéria seca (M.S.) das plantas apresentados na Figura 15, mostram através da equação de regressão e coeficiente de correlação que a produção de M.S. cresceu com a evapotranspiração, cujo efeito foi altamente significativo. Esses resultados estão condizentes com as afirmações de PEARSON (1959), quando diz que a evapotranspiração da cultura do arroz em meio salino é diretamente proporcional a M.S. produzida. Idênticos resultados foram obtidos por EATON (1942) no cultivo do milho.

Considerando-se que a eficiência de aplicação de água tenha sido de 100% em todos os tratamentos e fazendo-se uma análise da Tabela 7, verifica-se que o consumo de água pelas plantas diminuiu com o aumento dos níveis de sais na água de irrigação. Com relação ao tratamento controle o mã-

Figura 14. Relação entre a duração da área foliar (DAF) e a evapotranspiração da cultura.

Figura 15. Relação entre a produção de matéria seca e a evapotranspiração da cultura.

ximo decréscimo foi de 78,3% para o tratamento que recebeu 8000 ppm de sais. Por outro lado, a eficiência de consumo ou quantidade de água evapotranspirada por matéria seca produzida pelas plantas foi de: 7,1; 7,3; 9,6; 13,9 e 16,4 (mm/g de M.S.) para o controle e os tratamentos 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais, respectivamente. Tendo portanto, a eficiência de consumo diminuído com o aumento dos níveis de sais na água de irrigação. Isto equivale a dizer que as plantas submetidas às concentrações salinas crescentes necessitaram de absorver mais água da solução do solo para produzirem uma mesma quantidade de matéria seca. Resultados semelhantes foram obtidos por WADLEIGH et alii (1946) e EATON (1942), quando constataram que a água gasta por grama da matéria seca produzida aumentou com a salinidade do meio.

4.2.7. Teor e acúmulo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- nas plantas

Os resultados dos teores e acumulação de cálcio, magnésio, potássio, sódio, enxofre e cloro nas diversas partes da planta e na planta inteira estão apresentados na Tabela 8 e nas Figuras 16 a 25 em função dos tratamentos. O teor e acumulação de cada elemento variou de elemento para elemento entre as diversas partes da planta e na planta inteira.

Tabela 7. Valores médios de matéria seca, duração da área foliar (DAF), perfislos (Perf.) altura das plantas (Alt.) evapotranspiração (ET.) e eficiência de consumo (E cons.).

TRATAMENTO (ppm)	MATÉRIA SECA (g/vaso)	DAF (m ² .m ⁻² .dia)	Perf. (Nº)	Alt. (cm)	ET. (mm/ciclo)	E cons. (mm/g m.s.)	
	P. área	Raiz					
CONTROLE	405,8	128,5	2.805	86,4	62	3.764	7,1
2.000	284,8	47,1	1.671	76,6	42	2.406	7,2
4.000	129,7	15,7	781	58,6	36	1.396	9,6
6.000	56,6	7,9	344	31,8	30	895	13,9
8.000	45,4	4,4	280	20,6	28	817	16,4
d.m.s. (5%)	35,9	10,2	562	15,3	15	149	5,4
C.V. (%)	10,3	18,3	25,3	14,8	19,6	4,2	6,5

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey

C.V. : coeficiente de variação

4.2.7.1. Teor e acúmulo de cálcio

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados dos teores de Ca^{2+} nas diversas partes da planta raízes, colmos, folhas e na planta inteira. Observa-se que a maior concentração desse elemento se verificou nas folhas em todos os tratamentos. As equações de regressão e coeficientes de correlação Figuras (16, 18, 20 e 22), mostram que os teores de Ca^{2+} cresceram linear e significativamente em função dos tratamentos em proporções de $8,35 \times 10^{-5}$; $9,18 \times 10^{-5}$; $1,91 \times 10^{-5}$ e $1,09 \times 10^{-4}$ para os teores nas raízes, colmos, folhas e planta inteira, respectivamente. HEIKAL (1977) também verificou que há relação direta entre o teor de Ca^{2+} nas folhas e o aumento da concentração salina do meio de crescimento. Idênticos resultados foram obtidos por HASSAN et alii (1970) com cultura de cevada.

Entretanto, a equação de regressão e coeficiente de determinação, mostram que a quantidade total de Ca^{2+} armazenada pelas plantas decresceu significativamente em função dos tratamentos, com os dados se ajustando a uma equação do 4º Grau (Figura 25). Porém, o efeito contou com a participação das componentes linear, quadrática e cúbica em 89,1; 89,2 e 98,9%, respectivamente (Tabela 16 no Apêndice). Possivelmente, a redução no consumo de água pelas plantas (Tabela 7), tenha contribuído para o decréscimo na absorção e acumulação, do Ca^{2+} pelas plantas. Segundo MALAVOLTA (1980), a umidade além de influenciar na disponibilidade dos nutrien-

tes no solo afeta também o processo de absorção pelas plantas visto ser a água o veículo natural do transporte dos nutrientes.

4.2.7.2. Teor e acumulação de magnésio

Os teores de Mg^{2+} nas diversas partes da planta raízes, colmos, folhas e na planta inteira são apresentados na Tabela 8. Pode-se verificar que o maior teor desse elemento se concentrou nas folhas. Possivelmente, este aumento esteja em parte, ligado à presença do magnésio em 2,7% na estrutura da clorofila o que representa 10% do teor total desse elemento na folha, segundo MALAVOLTA (1980). De acordo com as equações de regressão o teor de Mg^{2+} nas folhas decresceu significativamente em função dos tratamentos em efeito de natureza cúbica (Figura 20). Porém, nas raízes e colmos o efeito foi linear positivo, conforme mostra as equações de regressão e coeficiente de correlação (Figuras 16 e 18). Na planta inteira o teor de Mg^{2+} também cresceu em função dos tratamentos, porém, em efeito quadrático (Figura 22).

A redução no conteúdo de magnésio foi acompanhada com um aumento no conteúdo de cálcio pelas plantas. É provável que a presença do cálcio em maior concentração no substrato salino ou adsorvido ao solo em forma trocável em relação ao magnésio (Tabelas 4 e 5), tenha contribuído para reduzir a absorção do Mg^{2+} pela cultura. Os resultados estão em geral de acordo com os obtidos por HEIKAL (1977).

Na Figura 24 estão as quantidades de Mg^{2+} acumuladas pelas plantas. Constata-se pela equação de regressão e o coeficiente de determinação que os valores de Mg^{2+} foram significativamente reduzidos pelo aumento dos sais dos tratamentos. O efeito foi descrito por uma função do 4º grau. Porém, 91% desse efeito teve a participação da componente linear (Tabela 16 no Apêndice). O decréscimo na quantidade de Mg^{2+} absorvida pelas plantas também deve estar ligado à redução na absorção de água e produção de matéria seca pela cultura.

4.2.7.3. Teor e acúmulo de potássio

A Tabela 8 mostra os resultados dos teores de K^+ nas diversas partes da planta e na planta inteira. Verifica-se que as folhas foi a parte que apresentou maior teor desse elemento. As equações de regressão mostram que em todos os casos o efeito foi de natureza quadrática (Figuras 16, 18, 20 e 22). O comportamento da função para os teores nas folhas foi sempre crescente (Figura 20), o contrário ocorreu nas raízes (Figura 16). Nos colmos o teor de K^+ cresceu até o tratamento que recebeu 6000 ppm de sais à partir desse nível salino na água de irrigação o efeito foi depressivo (Figura 18). Porém, na planta inteira o teor de K^+ cresceu em função dos tratamentos em efeito cúbico até um valor que segundo a equação de regressão corresponderia a aplicação de 5667 ppm de sais a água de irrigação (Figura 22). Entretanto, a quantidade de K^+ armazenada pelas plantas decresceu em função dos

Tabela 8 - Teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio, enxofre e cloro na matéria seca das diversas partes da planta e da planta inteira.

TRATAMENTO (ppm)	ELEMENTO	RAÍZES	COLMOS	FOLHAS	PLANTA
		----- (%)			
CONTROLE	Ca ²⁺	0,10	0,17	1,16	0,32
	Mg ²⁺	0,04	0,32	0,65	0,27
	K ⁺	0,19	0,25	1,54	0,88
	Na ⁺	0,06	0,16	0,07	0,11
	SO ₄ ²⁻	0,19	0,25	0,40	0,23
	Cl ⁻	0,04	0,59	1,78	0,57
2.000	Ca ²⁺	0,31	0,27	1,18	0,55
	Mg ²⁺	0,05	0,37	0,69	0,40
	K ⁺	0,01	1,58	1,86	1,50
	Na ⁺	0,09	1,97	0,70	1,17
	SO ₄ ²⁻	0,25	0,33	0,42	0,34
	Cl ⁻	0,07	3,65	4,67	3,40
4.000	Ca ²⁺	0,36	0,45	1,21	0,74
	Mg ²⁺	0,08	0,38	0,54	0,41
	K ⁺	0,04	2,06	2,45	2,27
	Na ⁺	0,11	2,81	1,02	1,86
	SO ₄ ²⁻	0,31	0,53	0,52	0,50
	Cl ⁻	0,09	6,30	5,62	5,39
6.000	Ca ²⁺	0,66	0,80	1,32	1,09
	Mg ²⁺	0,13	0,42	0,52	0,42
	K ⁺	0,04	2,01	2,53	2,24
	Na ⁺	0,21	3,37	1,38	2,42
	SO ₄ ²⁻	0,21	0,56	0,53	0,56
	Cl ⁻	0,15	6,72	5,95	6,15
8.000	Ca ²⁺	0,76	1,03	1,24	1,14
	Mg ²⁺	0,15	0,51	0,51	0,47
	K ⁺	0,04	1,81	2,60	2,00
	Na ⁺	0,36	4,38	1,54	2,88
	SO ₄ ²⁻	0,14	0,39	0,52	0,43
	Cl ⁻	0,29	7,20	6,11	6,52

Figura 16. Relação entre o teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} na matéria seca (M.S.) da raiz e os níveis de sais na água de irrigação.

tratamentos em efeito de natureza cúbica (Figura 24), mas contou com a participação da componente linear em 93,7% (Tabela 15 no Apêndice).

4.2.7.4. Teor e acúmulo de sódio

Os resultados dos teores de sódio na Tabela 8, mostram que foram os colmos a parte da planta que apresentou maior concentração desse elemento onde obteve valor máximo de 4,38%, sendo seguido pelos teores na planta inteira e nas folhas com 2,88 e 1,54% respectivamente, ambos nas plantas do tratamento de maior salinidade. As equações de regressão e coeficientes de correlação mostram que os teores de Na^+ na planta cresceram significativamente em função dos tratamentos, em proporções de $2,6 \times 10^{-5}$, $4,9 \times 10^{-4}$; $1,8 \times 10^{-4}$ e $3,4 \times 10^{-4}$ para os teores nas raízes, colmos, folhas e na planta inteira, respectivamente (Figuras 17, 19, 21 e 23).

O aumento do teor de sódio nas folhas da planta em meio salino, também foi observado por BROWN et alii, (1953), HEIKAL (1977), SONNEVELD (1978) e WALLACE et alii, (1973a). Porém, com relação a concentração de sódio na planta inteira idênticos resultados foram obtidos por HASSAN et alii (1970) e EHRLER (1960).

A Figura 25 mostra o acúmulo de sódio nas plantas. Verifica-se que os dados em função dos tratamentos se ajustaram a uma equação do 4º grau. As plantas do tratamento que recebeu 2000 ppm de sais foram as que acumularam maior

Figura 17. Relação entre o teor de Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- na matéria seca (M.S.) da raiz e os níveis de sais na água de irrigação.

quantidade de Na^+ . A partir desse tratamento o acúmulo de Na^+ decresceu com o aumento da salinidade dos tratamentos subseqüentes. Porém, o efeito do 4º grau teve a participação das componentes linear, quadrática e cúbica em 1,3; 45,4 e 96,6%, respectivamente (Tabela 16 no Apêndice).

O aumento na concentração de sódio nas raízes, colmos, folhas e na planta possivelmente seja devido a participação do teor de Na^+ em 23,8% entre os elementos que compunham a mistura de sais que definiu os tratamentos. Entretanto, o efeito depressivo dos tratamentos sobre o acúmulo de Na^+ nas plantas, possivelmente esteja relacionado com a redução na quantidade de água absorvida pela cultura (Tabela 7). Segundo MALAVOLTA (1980), o teor e quantidade do elemento na planta é proporcional ao volume de água absorvido e a concentração desse elemento na solução do solo.

4.2.7.5. Teor e acúmulo de enxofre

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados referentes ao teor de enxofre nas raízes, colmos, folhas e na planta inteira. Através das equações de regressão observa-se que os tratamentos apresentaram sobre o teor de enxofre efeitos de natureza linear nas folhas, quadrático nas raízes e na planta inteira e, cúbico nos colmos (Figuras 17, 19, 21 e 23). Na planta inteira e nos colmos a maior concentração ocorreu nas plantas do tratamento que recebeu 6000 ppm de sais (Figuras 19 e 23) e nas raízes no tratamento que recebeu 4000 ppm de sais (Figura 17).

Figura 18. Relação entre o teor de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ na matéria seca (M.S.) do colmo e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 19. Relação entre o teor de Na⁺, SO₄²⁻ e Cl⁻ na matéria seca (M.S.) do colmo e os níveis de sais na água de irrigação.

Na Figura 25 estão os resultados da acumulação do enxofre pelas plantas. A análise de regressão mostra que o acúmulo desse elemento decresceu em função dos tratamentos. Porém, o efeito foi significativo e de natureza cúbica e contou com a participação da componente linear em 97,2% (Tabela 15 no Apêndice).

4.2.7.6. Teor e acúmulo de cloro

A Tabela 8 mostra o teor de Cl^- nas raízes, colmos, folhas e na planta inteira. Observa-se que o maior teor de Cl^- se concentrou nos colmos da planta, onde alcançou valores de 7,20% vindo seguido de perto pelos teores na planta inteira e nas folhas com 6,5 e 6,1%, respectivamente, ambos nas plantas do tratamento de maior nível salino. As equações de regressão mostram que o efeito em todos os casos foi significativo e que o teor de Cl^- nos colmos, folhas e na planta inteira cresceu com os níveis de sais dos tratamentos em função de natureza quadrática (Figuras 19, 21 e 23). Porém, nas raízes, o teor de Cl^- cresceu em efeito linear (Figura 17). Concordando em parte com os resultados obtidos estão os estudos de SONNEVELD e VOOGT (1978) os quais obtiveram relação linear entre a quantidade do íon Cl^- aplicada na água de irrigação e sua concentração nas folhas das plantas.

Os teores de Cl^- encontrados nas folhas das plantas em todos os tratamentos, exceto o tratamento controle (Tabela 8), estão além das concentrações estabelecidas por

vários pesquisadores, entre eles (AYERS et alii, 1951; BERNSTEIN, 1965; BLACK, 1975; DAKER, 1970), em que diversas culturas inclusive o arroz mostram sintomas de danos provocados pela presença desse íon nas folhas.

A quantidade de Cl^- armazenada pelas plantas encontra-se na Figura 25. Constata-se que as plantas do tratamento que recebeu 2000 ppm de sais acumularam quantidade de cloro superior as plantas dos demais tratamentos. A equação de regressão e coeficiente de determinação mostram que os dados obtidos em função dos tratamentos se ajustaram a uma equação do 4º grau. Porém, com a participação em 12,6; 55,4 e 98,8 para as componentes linear, quadrática e cúbica, respectivamente (Tabela 16 no Apêndice). O aumento no teor de Cl^- e a redução em sua quantidade absorvida pelas plantas deveter sofrido a influência da quantidade de água absorvida pelas plantas e da participação desse elemento em 36,8% entre os elementos que compunham a mistura da solução que definiu os tratamentos.

Foram as raízes das plantas a parte que concentrou menor teor de cálcio, magnésio, potássio, sódio, enxofre e cloro em todos os tratamentos conforme mostra a Tabela 8.

Figura 20. Relação entre o teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} na matéria seca (M.S.) das folhas e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 21. Relação entre o teor de Na⁺, SO₄²⁻ e Cl⁻ na matéria seca (M.S.) das folhas e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 22. Relação entre o teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} na matéria seca (m.S.) total da planta e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 23. Relação entre o teor de Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- na matéria seca (M.S.) total da planta e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 24. Relação entre as quantidades de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} na matéria seca (M.S.) das plantas/vaso e os níveis de sais na água de irrigação.

Figura 25. Relação entre as quantidades (mg) de Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- na matéria seca (M.S.) das plantas/vaso e os níveis de sais na água de irrigação.

5. CONCLUSÕES

Com base nas análises e interpretações dos resultados obtidos na presente pesquisa e, considerando-se as condições em que a mesma foi conduzida, chegou-se as seguintes conclusões.

1. Os tratamentos causaram efeitos significativos sobre algumas características do solo: aumentaram a CTC, o valor V%, a RAS, os teores trocáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , a CE do extrato de saturação do solo, o acúmulo de sais no solo e reduziram a capacidade de retenção de água pelo solo.
2. A lavagem do solo com 250, 400, 440 e 440 mm de água de boa qualidade (condutividade elétrica $\sim 0,2$ mmhos/cm a 25°C) foi suficiente para reduzir a CE da drenagem do solo de 16 a 2; 27 a 2; 36 a 2 e 40 a 5 mmhos/cm a 25°C para os tratamentos 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais, respectivamente.

3. Os níveis de sais na água de irrigação afetaram desfavoravelmente a germinação das sementes, causaram queima nas folhas, reduziram significativamente a altura das plantas, o número de perfilhos, o índice e duração da área foliar, a produção de grãos e de matéria seca (M.S.), a evapotranspiração e, aumentaram o consumo de água gasta por grama de M.S. produzida.
4. Os tratamentos causaram efeito depressivo na quantidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- absorvida pelas plantas. Os efeitos foram significativos e de natureza cúbica para o S^{4+} e K^+ e do 4º grau para o Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Cl^- . Porém os teores desses elementos nas plantas decresceram em função linear para o Na^+ e Ca^{2+} e quadrática para o Mg^{2+} , K^+ , S^{4+} e Cl^- . O colmo foi a parte da planta que apresentou maior teor de Na^+ e Cl^- com valores de 4,38 e 7,20% e nas folhas os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} com valores de 1,24; 0,52; 2,26 e 0,56%, respectivamente, ambos nas plantas do tratamento de maior nível salino. Foram as raízes a parte da planta que apresentou teores menores desses elementos.
5. A produção de matéria seca foi reduzida em relação ao controle em 48, 73, 88 e 91%. Para os tratamentos 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm de sais na água de irrigação respectivamente.

6. LITERATURA CITADA

- ACEVES-N, E.; L.H. STOLZY e G.R. MEHUYS, 1975. Effects of soil osmotic potential produced with tow salt species on plant water potential, growth and grain yield of weat. Pl. Soil. The Hague, 42: 619-627.
- ALLISON, L.E., 1964. Salinity in relation to irrigation. Adv. Agron., New York, 16: 139-178.
- AYERS, A.D.; C.H. WADLEIGH e O.G. MAGISTAD, 1943. The inter-relationships of salt concentration and soil moisture content with the growth of beans. J. Am. Soc. Agron., Washington, 35: 796-810.
- AYERS, A.D.; C.H. WADLEIGH e L. BERNSTEIN, 1951. Salt tolerance of six varieties of lettuce. Am. Soc. Hort. Sci. Proc., Geneva, 57: 237-242.
- BANZATT0, N.V.; L.E. AZZINI; J. SOAVE; D.M. de SOUZA; T.R. da ROCHA e J. ALOISI SOBRI0, 1978. IAC 47. Novo cultivar de arroz de sequeiro. São Paulo, Instituto Agronômico de Campinas, 9 p.

- BAVER, L.D.; W.H. GARDNER e W.R. GARDNER, 1972. Soil Physics. 4a. ed. New York, John Wiley e Sons, 498 p.
- BERNSTEIN, L., 1965. Salt tolerance of fruit crops. Washington USDA, 8 p. (Bulletin nº 292).
- BERNSTEIN, L., 1974. Crops growth and salinity. In: SCHILFGARDE, J. VAN, ed. Drainage for Agriculture. Madison, American Society of Agronomy. p. 39-99 (Agronomy, 17).
- BERNSTEIN, L., 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Steady state. Am. J. Bot., Lancaster, 48:909 - 918.
- BERNSTEIN, L., 1963. Osmotic adjustment of plant to saline media. II. Dynamic phase. Am. J. Bot., Lancaster, 50:360-370.
- BERNSTEIN, L. e M. FIREMAN, 1957. Laboratory studies on salt distribution in furrow-irrigated soil with special reference to the pre-emergence period. Soil Sci., Baltimore, 83(4): 249-263.
- BERNSTEIN, L. e L.E. FRANCOIS, 1973. Leaching requirement studies: Sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage water. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37: 931-943.
- BERNSTEIN, L. e H.E. HAYWARD, 1958. Physiology of tolerance. A. Rev. Pl. Physiol., Palo Alto, 9: 25-46.
- BIGGAR, J.W. e D.R. NIELSEN, 1967. Miscible displacement of salinity profiles following irrigation of field crops with saline water. Israel J. agric. Res., Rehovot, 14(4): 187-197.

- BIGGAR, J.W. e K.K. TANJI, 1977. Soil-salt interactions in relation to salt control. Trans. Am. Soc. agric. Engers., St. Joseph, 20(1): 68-75.
- BLACK, C.A., 1975. Relaciones suelo-planta. 1a. ed., Buenos Aires, Editorial Hemisfério Sul, v.1., p. 391-444.
- BLACK, C.A., 1968. Salinity and excess sodium. In: _____. Soil-plant relationships, New York, John Waley, cap. 6, p. 353-404.
- BOLLARD, E.G. e G.W. BUTLER, 1966. Mineral nutrition of plant. A. Rev. Pl. Physiol., Palo Alto, 17: 77-112.
- BOUYOUCOS, G.J., 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. Soil Sci., Baltimore, 23: 343-345.
- BOWER, C.A. e C.H. WADLEIGH, 1949. Growth and cationic accumulation by four species of plants as influenced by various levels of exchangeable sodium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 13: 218-227.
- BOYNTON, D. e A.B. BURRELL, 1944. Potassium-induced magnesium deficiency in the mcintosh apple tree. Soil Sci., Baltimore, 58: 441-454.
- BRASIL, 1960. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas - Comissão de Solos. Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, CNEPA/MA. 605 p.
- BRESLER, E., 1967. A model for tracing sal distribution in the soil profile and estimating the efficient combination of water quality and quantity under varying field conditions. Soil Sci., Baltimore, 104(4): 227-233.

- BROWN, J.W. e H.E. HAYWARD, 1956. Salt tolerance of alfafa, varieties. Agron. J., Madison, 48: 18-20.
- BROWN, J.W.; C.H. WADLEIGH e H.E. HAYWARD, 1953. Foliar analysis of stone fruit and almond trees on saline substrates. Am. Soc. Hort. Sci. Proc., St. Joseph, 61: 49-55.
- CARTER, D.L. e C.L. WIEGAND, 1965. Interspersed salt-affected and unaffected dryland soils of the lower Rio Grande Valley: I. Quimical, physical, and mineralogical characteristics. Soil Sci., Baltimore, 99(4): 256-260.
- CROWTHER, E.M., 1925. The determination of H-ion concentration of soil suspensions by means of the hydrogen eletrode. J. agric. Sci., Cambridge, 15: 201-210.
- CRUCIANI, D.E., 1980. A drenagem na agricultura. São Paulo, Livraria Nobel, 333p.
- CRUZ, W.B. e F.C.A. FERREIRA DE MELO, 1969. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE, v. 7 p. 7-40 (Boletim nºs 1/4).
- DAKER, A., 1970. Irrigação e drenagem. In: _____. A água na agricultura. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, v.3, 453p.
- DONEEN, L.D., 1954. Salination of soils by salts in the irrigation water. Trans. Am. Geophys. Union., Washington, 35: 943-956.
- DONEEN, L.D. e J.H. MACGILLIVRAY, 1943. Germination of vegetable seeds as affected by different soil moisture conditions. Pl. Physiol., Lancaster, 18: 524-529.

- EATON, F.M., 1954. Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. Texas agric. Exp. Sta., Univ. Texas, 18 p. (Publ. 111).
- EATON, F.M., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci., Baltimore, 69: 123-233.
- EATON, F.M., 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. J. agric. Res., Washington, 64 (7): 357-399.
- EATON, F.M., 1941. Water uptake and root growth as influenced by inequalities in the concentration of the substrate. Pl. Physiol., Lancaster, 16: 545-564.
- EDWARDS, A.P. e J. M. BREMNER, 1967. Microaggregates in soils. J. Soil. Sci., London, 18: 64-73.
- EHLER, W., 1960. Some effects of salinity on rice. Bot. Gaz. Chicago, 122: 102-104.
- EHLER, W. e L. BERNSTEIN, 1958. Effects of temperature, mineral nutrition, and salinity on the growth and composition of rice. Bot. Gaz., Chicago, 120: 67-74.
- ELGABALY, M.M., 1955. Specific effects of adsorbed ions on plant growth: I. Effect of different combinations of calcium, magnesium, and sodium on barley seedlings. Soil Sci., Baltimore, 80: 235-249.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa-Arroz, Feijão, 1977. Manual de métodos de pesquisa em arroz. 1a. aproximação. Goiânia, 106 p.

- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 282 p.
- FAGERIA, N.K.; M.P. BARBOSA FILHO e H.R. GHEYI, 1981. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância a salinidade. Pesq. agropec. bras., Brasília 16(5): 677-681.
- FASSBENDER, H.W., 1975. Química de suelos. Torrialba, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas de la OEA 380 p.
- FENN, L.B.; J.J. OERTLI e F.T. BINGHAM, 1970. Specific chloride injury in persea americana. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 34: 617-620.
- FERNANDEZ, F.G.; M. CARO e A. CERDÁ, 1977. Influence of NaCl in the irrigation water on yield and quality of sweetpepper (*Capsicum annuum*). Pl. Soil., The Hague, 46: 405-411.
- FOTH, H.D. e L.M. TURK, 1972. Soil and agriculture of arid regions. In: _____ . Fundamentals of soil science. 5a. ed., New York, John Wiley e Sons, cap. 15, p. 375 - 393.
- GARDNER, R., 1945. Some soil properties related to the sodium salt problem in irrigated soil. USDA, Washington, s.p. (Tech. Bull. 902).
- GARDNER, W.R.; M.S. MAYHUGH; J.O. GOWRTZEN e C.A. BOWER, 1959. Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percenta on diffusivity of water in soils. Soil Sci., Baltimore, 88: 270-274.

- GAUCH, H.G. e C.H. WADLEIGH, 1944. Effects of high salt concentrations on growth of bean plants. Bot. Gaz. Chicago, 105: 379-387.
- GAUCH, H.G. e C.H. WADLEIGH, 1951. The salt tolerance and chemical composition of rhodes and dallis grass grown in sand culture. Bot. Gaz., Chicago, 112: 259-271.
- GEORGE, L.Y., 1967. Accumulation of sodium and calcium by seedlings of some cereal crops under saline conditions. Agron. J., Madison, 59: 297-299.
- GERARD, C.J., 1978. Root growth along plexiglas surfaces by sugarcane under different soil salinity conditions. Agron. J., Madison, 70: 639-643.
- GLODBERG, D.; B. GORNAT e Y. BAR, 1971. The distribution of roots water and minerals as result of trickle irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci., St. Joseph, 96(5): 645-648.
- HACKETT, D.P., 1961. Effects of salts on DPNH oxidase activity and structure of sweet potato mitochondria. Pl. Physiol., Lancaster, 36(1): 445-452.
- HAJRASULIHA, S., 1980. Accumulation and toxicity of chloride in bean plants. Pl. Soil., The Hague, 55: 133-138.
- HARMER, P.M. e E.J. BENNE, 1941. Effects of applying common salt to a muck soil, on the yield, composition, and quality of certain vegetable crops and on the composition of the soil producing them.-Agron. J., Madison, 33: 952-979.

- HASSAN, N.A.K.; J.V. DREW; D. KNUDSEN e R.A. OLSON, 1970. Influence of soil salinity on production of dry matter and uptake and distribution of nutrients in barley and corn: I. Barley (*Hordeum vulgare* L.). Agron. J., Madison, 62: 43-45.
- HAYWARD, H.E. e L. BERNSTEIN, 1958. Plant-growth relationships on salt-affected soils. Bot. Gaz., Chicago, 24(8, 10):584-635.
- HAYWARD, H.E. e E.M. LONG, 1943. Some effects of sodium salt on the growth of the tomato. Pl. Physiol., Lancaster, 18: 556-567.
- HAYWARD, H.E. e W.B. SPURR, 1944. Effects of isosmotic concentrations of inorganic and organic substrates on entry of water into com roots. Bot. Gaz., Chicago, 106: 131-139.
- HAYWARD, H.E. e C.H. WADLEIGH, 1949. Plant growth on saline and alkali soils. Adv. Agron., New York, 1: 1-38.
- HEIKAL, M.M.D., 1977. Physiological studies on salinity. VI. Changes in water content and mineral composition of some plant over a range of salinity stresses. Pl. Soil., The Hague, 48: 223-232.
- HEGDE, B.A. e G.V. JOSHI, 1974. Short communication. Mineral salt absorption in saline rice variety, Kala Rata. Pl. Soil., The Hague, 41: 421-424.
- HILLEL, D., 1972. Soil moisture and seed germination. In: KOZŁOWSKI, T.T., ed. Water Deficits and Plant Growth. New York, Academic Press. v.3. p. 65-84.

- HIPP, B.W. e C.J. GERRAD, 1973. Influence of cropping system on salt distribution in an irrigated Vertisol. Agron. J., Madison, 65(1): 97-99.
- HOFFMAN, G.J. e C.J. PHENE, 1971. Effect of constant salinity levels on water-use efficiency of bean and cotton Trans. Am. Soc. agric. Engers., St. Joseph, 14(6): 1103-1106.
- HONDA, S.I.; R.N. ROBERTSON e J.M. GREGORY, 1958. Studies in the metabolism of plant cells. XII. Ionic effects on oxidation of reduced diphosphopyridine nucleotide and cytochrome c by plant mitochondria. Aust. J. Biol. Sci., Melbourne, 2: 1-15.
- HUMMADI, K.B.; D.D. FANGMEIER e T.C. TUCKER, 1975. Salubre salt and nitrate distribution in irrigated lettuce beds. Trans. Am. Soc. agric. Engers., St. Joseph, 18(2): 686 - 689.
- HUNTER, J.R. e A.E. ERICKSON, 1952. Relation of seed germination to soil moisture tension. Agron. J., Madison, 44(3):107-110.
- JANES, B.E., 1966. Adjustment mechanisms of plants subjected to varied osmotic pressures of nutrients solution. Soil Sci., Baltimore, 101: 180-188.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1974. Annual report for 1973. Los Baños, Philippines, 266p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1975. Annual report for 1974. Los Baños, Philippines, 384 p.
- ISRAELSEN, O.W. e V.E. HANSEN, 1973. Principios y aplicaciones del riego. 2a. ed. Barcelona, Editorial Reverté, 396 p.

- JANES, B.E., 1968. Effects of extended periods of osmotic stress on water relationships of paper. Pl. Physiol., Lancaster, 21: 334-345.
- JOSHI, G.V. e G.R. NAIK, 1980. Response of sugarcane to different types of salt stress. Pl. Soil., The Hague, 56: 255-263.
- KADDAH, M.T., 1963. Salinity effects on growth of rice at the seedling and inflorescence stages of development. Soil Sci., Baltimore, 96: 105-111.
- KADDAH, M.T. e S.I. FAKHRY, 1961. Tolerance of Egyptian rice to salt. Soil Sci., Baltimore, 91: 113-120.
- KADDAH, M.T. e S.I. FAKHRY, 1962. Tolerance of Egyptian rice to salt: 2. Salinity effects as related to cationic, composition temporary application, and irrigation and drainage frequency. Soil Sci., Baltimore, 93: 95-103.
- KAPP, L.C., 1947. The effect of common salt on rice production. Arkansas Univ. agric. Sta., Fayetteville, 48 p. (Bull. 465).
- KELLER, J. e J.E. ALFARD, 1966. Effect of water application rate on reaching. Soil Sci., Baltimore, 102(2): 107-114.
- KELLEY, W.P., 1963. Use of saline irrigation water. Soil Sci., Baltimore, 95: 385-391.
- KELLEY, W.P.; B.M. LAURENCE e H.D. CHAPMAN, 1949. Soil salinity in relation to irrigation. Hilgardia, Berkeley, 18: 635 - 665.

- KIM CHOON MIN, 1958. Effect of saline and akkaline salts on the growth and internal components of selected vegetable plants: Physiologia Pl. Amsterdam, 11(1): 441-449.
- KLOTZ, I.M., 1958. Protein hydration and behaviour. Science, New York, 128: 815-822.
- KRAMER, P.J., 1974. Relaciones hidrica de suelos e plantas. Mexico, Centro Regional de Ayuda Tecnica, 530 p.
- LATIES, G.G., 1954. The osmotic inactivation in situ of plant mitochondrial enzymes. J. exp. Bot., Oxford, 5: 49-70.
- LEHR, J.J., 1942. The importance of sodium for plant nutrition. III. The equilibrium of cations in the beet. Soil Sci., Baltimore, 53: 399-411.
- LEO, M.W.M., 1963. Effects of cropping and fallowing on soil salinization. Soil Sci., Baltimore, 96: 422-427.
- LEWIS, G.C. e R.L. JUVE, 1956. Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. Soil Sci., Baltimore, 81: 125-137.
- LONG, E.M., 1943. The effect of salt additions to the substrate on intake of water and nutrients by roots of approach-grafted tomato plants. Am. J. Bot., Lancaster, 30(8): 594-601.
- LONGENECKER, D.E., 1973. The influence of soil salinity upon fruiting and shedding, boll characteristics, fiber quality, and yields of tow cotton species. Soil Sci., Baltimore, 115(4): 294-302.

- LUNIN, J.; M.H. GALLATIN e A.R. BATCHELDER, 1961. Effect of stage of growth of time of salinization on the growth and chemical composition of beans: II. Salinization in one irrigation compared with gradual salinization. Soil Sci., Baltimore, 92: 194-201.
- LUNT, O.R.; V.B. YOUNGNER e J.J. OERTLI, 1961. Salinity tolerance of five turgrass varieties. Agron. J., Madison, 53: 247 - 249.
- MAGISTAD, O.C., 1945. Plant growth relations on saline and alkali soils. Bot. Rev., Lancaster, 11: 181-230.
- MAGISTAD, O.C.; A.D. AYERS; C.H. WADLEIGH e H.G. GAUCH, 1943. Effect of salt concentration, kind of salt, and climate on plant growth in sand cultures. Pl. Physiol., Lancaster, 18: 151-166.
- MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 253 p.
- MASSOUD, F.I., 1974. Salinity and alkalinity as soil degradation hazards. FAO/ONESP Expert. Consultation on Soil Degradation. FAO, Rome, p. 10-14.
- MATSUI, E., 1978. Origem e dinâmica de classificação da água do Nordeste brasileiro, Bacia do Rio Pajeú, PE. Piracicaba, ESALQ/USP, 64 p. (Tese de Doutorado).
- McNEAL, B.L. e N.T. COLEMAN, 1966. Effect of sodium composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 30: 308-312.

MILLER, R.J.; J.W. BIGGAR e D.R. NIELSEN, 1965. Chloride displacement in pronchoe clay loam in relation to water moviment and distribution. Wat. Resour. Res., Washington, 1: 63-73.

OERTLI, J.J., 1966a. Effects of external sal concentrations on water relations in plants. I. Absence of osmotic adjustment in the root xylem. Soil. Sci., Baltimore, 102(3): 180 - 186.

OERTLI, J.J., 1966b. Effects of external sal concentrations on water relations in plants. II. Effect of the osmotic differential between external medium and xylem on water relations the entire plant. Soil Sci., Baltimore, 102(4): 258-263.

OERTLI, J.J., 1967. Effects of external salt concentrations on water relations in plants. III. Concentration dependence of the osmotic differential between xylem and external medium. Soil Sci., Baltimore, 104(1): 56-62.

OERTLI, J.J., 1968. Effects of external salt concentrations on water relations in plants. V. Significance of external water potential and salt-transport kinetics on rate of cell expansion. Soil. Sci., Baltimore, 105: 216-221.

O'LEARY, J.W., 1975. Short communication. High humidity overcomes lethal levels of salinity hidroponically grown salt-sensitive plant. Pl. Soil., The Hague, 42: 717-721.

OLIVEIRA, F.A., de, 1980. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do arroz (*Oryza sativa*) sob irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 9, Campina Grande, 1978. Anais ... Campina Grande, CCT/UFPB, p.145-150.

- OSOTSAPAR, Y. e B.T. MERCADO, 1978. Osmotic adjustment in salt-stressed rice plants. Philipp. J. Sci., Manila, Philippines, 107(1,2): 51-60.
- PÁLFI, G., 1965. The effect of sodium salts on the nitrogen, phosphorus, potassium, sodium and amino acid content of rice shoot. Pl. Soil., The Hague, 22(1): 127-135.
- PALIWAL, K.V. e K.K. MEHTA, 1973. Interactive effect of salinity and boron on the germination and growth of seedlings of some paddy (*Oryza sativa*) varieties. Pl. Soil., The Hague, 39: 603-609.
- PEARSON, G.A., 1959. Factors influencing salinity of submerged soil and growth of caloro rice. Soil Sci., Baltimore, 87: 198-206.
- PEARSON, G.A. e A.D. AYERS, 1960. Rice as a crop for salt-affected soil in process of reclamation. USDA, Washington, 13 p. (Report, 43).
- PEARSON, G.A.; A.D. AYERS e D.L. EBERHARD, 1966. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. Soil Sci., Baltimore, 103 (3): 151-156.
- PEARSON, G.A. e L. BERNSTEIN, 1958. Influence of exchangeable sodium on yield and chemical composition of plant. Soil Sci., Baltimore, 86: 254-261.

- PESOTSKIL, B. e B. ROSHKOV, 1974. Irrigation of winter wheat. Zemledelie. Moskva, (7): 65-66. Apud Field crops Abstracts, Aberystwyth, 28(12): 748-, 1975.
- PHILIP, J.R., 1958a. Propagation of turgor and other properties through cell aggregations. Pl. Physiol., Lancaster, 33 (4): 271-274.
- PHILIP, J.R., 1958b. The osmotic cell, solute diffusibility and the plant water economy. Pl. Physiol., Lancaster, 33 (4): 264-271.
- PIERRE, W.H., 1925. The H-ion concentration of soil as affected by carbonic acid and the soil water ratio, and the nature of soil acidity as revealed by these studies. Soil Sci., Baltimore, 20: 285-305.
- PIMENTEL GOMES, F., 1973. Curso de estatística experimental. 5a. ed., Piracicaba, Livraria Nobel, 430 p.
- PONNAMPERUMA, F.N., 1977. Screening rice for tolerance to mineral stress. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Los Baños, Philippines, 21 p.
- PUFFELES, M., 1939. Effect of saline water on mediterranean loess soils. Soil Sci., Baltimore, 47: 447-452.
- PURI, A.N. e A.G. ASGHAR, 1938. Influence of salts and soil-water ratio on pH value of soils. Soil Sci., Baltimore, 46: 249-257.
- PURI, A.N. e A. SARUP, 1938. Isohydric pH value of soils and its determination. Soil Sci., Baltimore, 46: 49-56.

- QAYYUM, M.A. e W.D. KEMPER, 1962. Salt-concentration gradients in soils and their effects on moisture moviment and evaporation. Soil Sci., Baltimore, 93: 333-342.
- QUIRK, J.P. e R.K. SCHOFIELD, 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. J. Soil Sci., London, 5: 163-378.
- RANZANI, G.; O. FREIRE e T. KINJO, 1966. Carta de solos do município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. Piracicaba, ESALQ/USP, 85 p. (Mimeografado).
- REBOUÇAS, A.C., 1973. Le problême de l'eau dans la zone semi aride du Brésil. Strasburg L'Universitê Louis Pasteur de Strasburg, 291 p. (Tese de Doutorado).
- REITEMEIR, R.F., 1946. Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. Soil Sci., Baltimore, 61: 195-215.
- REPP, G.I.; D.R. McALLISTER e H.H. WIEBE, 1959. Resistencia salina del protoplasma como prueba para la tolerancia a la sal de plantas agrícolas. Agron. J., Madison, 51: 311-314.
- RICHARDS, L.A., 1941. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Sci., Baltimore, 51: 377-386.
- RICHARDS, L.A., 1974. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. Mexico, Editorial Limusa, 171 p.
- RICHARDS, L.A., 1947. Pressure-membrane apparatus, construction and use. Agron. Eng., Madison, 28: 451-454.

- SALATI, E.; J.M. LEAL e M.M. CAMPOS, 1979. Isótopos ambientais aplicados a um estudo hidrogeológico do Nordeste brasileiro. Recife, SUDENE, 55 p. (Hidrogeologia, 58).
- SCOFIELD, C.S. e F.B. HEADLEY, 1921. Quality of irrigation water in relation to land reclamation. J. agric. Res., Washington, 21(4): 265-278.
- SCHOONOVER, W.R., 1966. Evaluation of water quality. In: SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL WASTE WATERS, 1a., Davis, 1966. Proceedings... Davis, Water Resources Center, p. 24 - 48 (Report., 10).
- SEIFERT Jr., W.J.; E.A. HILER e T.A. HOWELL, 1975. Trickle irrigation with water of different salinity levels. Trans. Am. Soc. Agric. Engers., St. Joseph, 18(1): 89-94.
- SETZER, J., 1966. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Rio Paraná-Paraguaio, São Paulo, p. 1-61.
- SHALHEVET, J., 1973. Irrigation with saline water. In: YARON, B.; E. DANFORS e Y. VAADIA, eds., Arid zone irrigation, New York, Springer-Verlag, 5: 263-276.
- SHALHEVET, J. e P. REINIGER, 1964. The development of salinity profiles following irrigation of field crops with saline water. Israel J. agric. Res., Rehovot, 14(4): 187-197.
- SLATYER, R.O., 1967. Development and significance of internal water deficits. In: _____. Plant-water. London, Academic Press. cap. 9, p. 275 - 308.

- SLATYER, R.O., 1961. Effects of several osmotic substrates on water relationships of tomato. Aust. J. biol. Sci., Melbourne, 14: 519-540.
- SMITH, S.J., 1972. Relative rate of chloride moviment in leaching of surface soils. Soil Sci., Baltimore, 114(4): 259-263.
- SONNEVELD, C. e S.J. VOOGT, 1978. Effects of saline irrigation water on glasshouse cucumbers. Pl. Soil, The Hague, 49: 595-606.
- SOUSA FRANCISCO, F.E., de, 1959. Recuperação de solos salgados no Nordeste. Rio de Janeiro, DNOCS, v. 19 p. 86 - 99. (Boletim nº 3).
- SOUZA, R., 1971. Qualidade da água de irrigação controle da salinidade do solo e sua reabilitação. Recife, MINTER-GEIDA/SUDENE, 66 p.
- SPURWAY, C.H. e R.H. AUSTIN, 1926. Some residual effects of neutral salt treatments on the soil reation. Soil Sci., Baltimore, 21: 71-75.
- STONE, L.F. e S. STEINMETZ, 1979. Índice de área foliar e adubação nitrogenada em arroz. Pesq. agropec. bras., Brasília, 14(1): 25-28.
- STROGONOV, B.P., 1965. Physiological basis of salt tolerance of plants: As affected by various types of salinity; Translated from Russian. Jerusalem, Israel Program Scientific Translations, 279 p.

- THORNE, D.W., 1945. Growth, nutrition of tomato plants as influenced by exchangeable sodium, calcium, and potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 9: 185-189.
- THORNE, J.P. e D.W. THORNE, 1951. Irrigation waters of Utah. Utah agric. Exp. Sta., Logan, 63 p. (Bull. 346).
- TSCHESCHKE, P.; J.F. ALFARO; J. KELLER e R.J. HANKS, 1974. Trickle irrigation soil water potential as influenced by management of highly saline water. Soil Sci., Baltimore, 117(4): 226-231.
- UHVITS, R., 1946. Efecto de la presión osmótica sobre la absorción de agua y la germinación de semillas de alfafa. Am. J. Bot., Lancaster, 33: 278-285.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, USDA, 160 p. (Handbook, 60).
- VEIGA, C.L. e L.B. OLIVEIRA, 1976. Influência do preparo do solo sobre a distribuição de raízes de soja (*Glycine max* (L) Merrill) em solo Podzólico. Rev. Centro de Ciência Rurais, Santa Maria, 6(3): 295-307.
- WADLEIGH, C.H. e A.D. AYERS, 1945. Growth and biochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. Pl. Physiol., Lancaster, 20: 106-132.
- WADLEIGH, C.H. e H.G. GAUCH, 1944. The influence high concentrations of sodium sulfate, sodium chloride, calcium chloride, and magnesium chloride on the growth of Guayule in sand culture. Soil Sci., Baltimore, 58: 399-403.

- WADLEIGH, C.H.; H.G. GAUCH e O.C. MAGISTAD, 1946. Growth and rubber accumulation in guayule as conditioned by soil salinity and irrigation regime, Washington, USDA, 34 p. (Bull. Tec. 925).
- WALLACE, A.; R.T. MUELLER e E.M. ROMNEY, 1973a. Sodium relations in desert plants. 2. Distribution of cations in plant parts of three different species of *Atriplex*. Soil Sci., Baltimore, 115(5): 390-394.
- WALLACE, A.; E.M. ROMNEY e V.Q. HALE, 1973b. Sodium relations in desert plants: 1. Cation contents of some plant species from the mojave and great basin desert. Soil Sci., Baltimore, 115(4): 284-287.
- WEST, D.W., 1978. Water use and sodium chloride uptake by apple trees. I. The effect of non-uniform distribution of sodium chloride in the root zone. Pl. Soil., The Hague, 50: 37-49.
- WILCOX, L.V., 1948. The quality of water for irrigation use. Washington, USDA, 40 p. (Bull. Tech. 962).
- WILCOX, L.V. e W.H. DURUM, 1967. Quality of irrigation water. In: HAGAN, R.M. et alii, eds. Irrigations of Agricultural Land. Madison, American Society of Agronomy, p. 104 - 122 (Agronomy, 11).
- YOUNIS, A.F. e M.A. HATATA, 1971. Studies on the effects of certain salts on germination, on growth of root, and on metabolism. II. Effect of diferent concentrations of single salt solutions on the growth of wheat root. Pl. Soil., The Hague, 34: 293-308.

APENDICE

Tabela 9. Quadrado médio (QM) relativo ao acúmulo de saís no solo e os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L e R^2_Q) e coeficiente de variação (C.V.).

Causa da variação	G.L.	QM
Regressão linear	1	212040000 **
Regressão quadrática	1	46760243 *
Resíduo	2	3449878
R^2_L		0,798
R^2_Q		0,974
C.V. %		50,31

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10. Quadrado médio (QM) relativo a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L ; R^2_Q e R^2_C) e o coeficiente de variação (C.V.).

Casa da variação	G.L.	QM
Regressão linear	1	517,54 **
Regressão quadrática	1	115,26 **
Regressão cúbica	1	14,81 *
Desvio	1	1,33
R^2_L		0,797
R^2_Q		0,975
R^2_C		0,998
C.V. %		49,10

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11. Quadrado médio (QM) referente a condutividade elétrica da drenagem dos solos que receberam os tratamentos de 2000, 4000, 6000 e 8000 ppm (CEd_1 , CEd_2 , CEd_3 e CEd_4), respectivamente, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L e R^2_Q) e coeficientes de variação (C.V.).

Causa da Variação	G.L.	QM			
		CEd_1	CEd_2	CEd_3	CEd_4
Regressão linear	1	156,00**	427,56**	809,20**	795,66**
Regressão quadrática	1	17,83*	40,05*	25,39*	25,19**
Resíduo	3	1,79	1,08	4,23	1,71
R^2_L		0,871	0,908	0,956	0,963
R^2_Q		0,970	0,993	0,985	0,993
S.V. %		89,80	73,60	65,91	58,60

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12. Quadrado médio (QM) relativo a altura das plantas, duração da área foliar (DAF); evapotranspiração (ET), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L , R^2_Q) e coeficientes de variação (C.V.).

Causa da variação	G.L.	QM		
		ALTURA	DAF	ET
Regressão linear	1	6294,42**	20327963,25**	27403685,20**
Regressão quadrática	1	943,56**	2405008,93**	3361651,40**
Desv. R	2	9,03	7177,23	3559,20
Resíduo	20	65,92	88537,80	6217,75
R^2_L		0,868	0,893	0,890
R^2_Q		0,998	0,999	0,999
C.V. %		19,65	25,30	4,25

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 13. Quadrado médio (QM) relativo ao número de perfilhos, matéria seca, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L , R^2_Q , R^2_C) e coeficientes de variação (C.V.).

Causa da variação	QM		
	G.L.	PERFILHOS	MATÉRIA SECA
Regressão linear	1	15488,00**	449920,98**
Regressão quadrática	1	41,66	32443,56**
Regressão cúbica	1	288,00**	4627,22**
Desv. R	1	41,14	1340,64
Resíduo	20	65,96	360,68
R^2_L		0,976	0,921
R^2_Q		0,979	0,987
R^2_C		0,997	0,997
C.V. %		14,82	10,30

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 14. Quadrado médio (QM) relativo ao teor de cálcio no colmo (%Ca-Col), teor total de magnésio (%Mg-total), teor de potássio na folha, no colmo e total (%K-F; % K-Col; % total-K), teor total de enxofre (% total-S), teor de cloro na folha e total (% Cl-F; % total-Cl), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L , R^2_Q) e coeficientes de variação (C.V.).

Causa da variação	G.L.	QM						
		%Cl-Col.	%Mg-Total	%K-F	%K-Col.	%K-Total	%S-Total	%Cl-F %Cl-Total
R. linear	1	132,682**	0,1301**	3,1030**	1,2262**	4,4820**	0,19468**	49,5102** 106,8723**
R. quadrática	1	19,504**	0,0163**	0,4678*	0,9029**	2,2572**	0,12348**	13,3531** 13,3544**
Desv. R	2	0,660	0,0047	0,0333	0,0614	0,1181	0,01433	0,8161 0,0981
Resíduo	20	0,748	0,0052	0,1301	0,0408	0,1540	0,00729	0,3344 0,3304
R^2_L		0,864	0,835	0,699	0,544	0,649	0,561	0,768 0,879
R^2_Q		0,991	0,940	0,804	0,945	0,966	0,966	0,973 0,998
C.V. %		50,60	17,64	19,20	17,90	22,06	20,72	33,20 13,03

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade
* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15. Quadrado médio (QM) relativo ao teor de magnésio na folha (%Mg-F), e de enxofre no colmo (%S-Col.), quantidade de potássio (mg-K) e de enxofre (mg-S), com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2_L , R^2_Q , R^2_C) e coeficientes de variação (C.V.).

Causa da variação	G.L.	QM		
		% Mg-F	mg-K	% S-Col. mg-S
R. linear	1	0,1101**	67078775,00**	0,1506** 4722893,80**
R. quadrática	1	0,0002	2403,77	0,1303** 12596,02
R. cúbica	1	0,0208**	4435671,60*	0,0560* 122463,02**
Desv. R.	1	0,0016	24837,23	0,0051 409,32
Resíduo	20	0,0017	86367,76	0,0145 10642,93
R^2_L		0,769	0,937	0,441 0,972
R^2_Q		0,772	0,939	0,823 0,974
R^2_C		0,997	0,998	0,988 0,999
C.V. %		55,80	9,77	26,80 13,77

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16. Quadrado médio (QM) relativo a quantidade de cálcio (mg-Ca), magnésio (mg-Mg), sódio (mg-Na) e cloro (mg-Cl), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2_L ; R^2_C ; R^2_Q ; R^2_{40G}) e coeficiente de variação (C.V.).

Causa da variação	G.L.	QM			
		mg-Ca	mg-Mg	mg-Na	mg-Cl
R. linear	1	6737166,10**	7060154,60**	526604,79*	33517742,00**
R. quadrática	1	2982,28	214918,75**	16612059,00**	113710000,00**
R. cúbica	1	737602,29**	353556,41**	19318831,00**	115090000,00**
R. 4º grau	1	75881,61**	105552,38**	1265747,00**	3217215,75*
Resíduo	20	8817,88	2979,30	184337,61	1168738,58
R^2_L		0,891	0,913	0,013	0,126
R^2_Q		0,892	0,940	0,454	0,554
R^2_C		0,989	0,985	0,966	0,988
R^2_{40G}		0,999	0,998	0,999	0,999
C.V. %		7,92	6,76	21,22	18,63

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.