

5 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

José Simplicio de Holanda e Julio Roberto Araujo de Amorim

5.1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para os seres vivos e fator de fundamental importância para produção de alimentos, especialmente sob condições irrigadas. A prática da irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semi-árido do Nordeste brasileiro, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido à taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação durante a maior parte do ano. Nessas regiões, sem um manejo adequado da irrigação, a salinização do solo é inevitável.

A crescente demanda por matéria-prima e alimentos, produzidos pela agricultura, torna o uso da irrigação imperativo em todo o mundo (Szabolcs & Darab, 1979). A evolução mundial das áreas irrigadas vem tendo o seguinte comportamento: 8 milhões de ha em 1880, 48 milhões de ha em 1900, 94 milhões de ha em 1950, 198 milhões de ha em 1970 e cerca de 220 milhões de ha em 1990 (Jensen, 1990). Cerca de 3/4 das áreas irrigadas situam-se em países em desenvolvimento, respondendo os cereais por 60% do total das culturas exploradas. As áreas irrigadas representam 15 a 17% das terras cultivadas e respondem por 36% da produção mundial de alimentos (Rhoades *et al.*, 1992).

Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (Wilcox & Durum, 1967; Shainberg & Oster, 1978; Araguez Lafarga, 1982). Segundo Ayers & Westcot (1991), a desatenção a este aspecto foi devido à abundância de fontes de água que, no geral, eram de boa qualidade e de fácil utilização.

Essa situação, no entanto, está mudando, em muitos lugares, em decorrência do aumento de consumo, tendo-se que recorrer ao uso de águas de qualidade inferior, cuja avaliação torna-se necessária (Ayers & Westcot, 1991). Um manejo racional da irrigação envolve tanto a economia de água como os aspectos qualitativos para a prevenção dos problemas causados por sais, e deve estar associado aos demais fatores de produção, em níveis ideais, de modo a maximizar os rendimentos agrícolas.

5.2 A ÁGUA E SUA IMPORTÂNCIA PARA AS PLANTAS

A água não é apenas a substância simples mais abundante na biosfera mas, provavelmente, a mais importante (Benincasa, 1984). Acredita-se que os organismos vivos tenham se originado em um ambiente aquático (Sutcliffe, 1980) e tornaram-se dependentes da água durante sua evolução, não sendo possível viver sem ela. Daí, a água ser imprescindível para a existência da vida na Terra.

De todas as substâncias absorvidas pelas plantas, a água é obviamente a que é necessária em maior quantidade. As moléculas de água são mais do que qualquer simples engrenagem na maquinaria metabólica das plantas: integram os seres vivos e, a nível ecológico, representam uma força importantíssima em configurar padrões climáticos. Portanto, a água é essencial para a vida das plantas, tanto no sentido bioquímico como biofísico e suas influências são internas e ambientais (Benincasa, 1984).

Por ser o principal constituinte das células vegetais, podendo atingir até 95% do peso total (Sutcliffe, 1980), a água é um fator vital na produção das plantas, participando de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos essenciais ao seu desenvolvimento.

A água atua também como veículo de transporte de nutrientes minerais e produtos orgânicos da fotossíntese, absorvidos do solo e conduzidos para as plantas através da contínua demanda evapotranspirativa, com destino à atmosfera (Reichardt, 1993).

A maior parte da água absorvida por uma planta é perdida na forma de vapor pela superfície das folhas, processo este conhecido como transpiração. Plantas de milho, por exemplo, transpiram mais de 98 % do total da água que absorvem. Do restante, a maior parte fica retida nos tecidos vegetais e somente uma porção muito pequena ($\cong 0,2\%$) é utilizada na fotossíntese (Miller¹, citado por Sutcliffe, 1980). Esse fluxo de água é, no entanto, necessário ao desenvolvimento vegetal (Reichardt, 1993).

A água, sendo o composto mais abundante na face da Terra e constituinte de toda a matéria viva, possui algumas características próprias que favorecem a manifestação de fenômenos físicos, químicos e biológicos, vitais ao desenvolvimento das plantas, que podem ser assim resumidos (Sutcliffe, 1980):

- É o principal constituinte do protoplasma, compreendendo, freqüentemente, mais de 90% de sua massa total;
- É o meio natural de ocorrência de numerosas reações químicas (hidrólise, oxidação, hidratação) e bioquímicas (digestão de amido, bioconversão protéica);
- É uma fonte de prótons (íons H^+) para a redução do CO_2 na fotossíntese e de íon hidroxila (OH^-) que fornecem elétrons para as reações de luz;
- É uma substância química muito ativa, sendo o solvente universal e natural de substâncias como sais, açúcares, íons etc.;
- É também o solvente no qual os materiais são transportados no xilema e floema, e provavelmente também através do citoplasma de células;
- Pelo seu elevado calor específico ($1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) atua como regulador de temperatura.
- A adsorção das moléculas de água às superfícies de partículas formam uma película de hidratação que influencia as reações físicas e químicas;
- Mantém a rigidez dos tecidos vegetais pela pressão de turgescência no interior das células (turgor celular) responsável pelo crescimento vegetal;
- Em plantas submersas, ou parcialmente submersas, a água externa proporciona sustentação devido à flutuabilidade de caules e folhas;
- Meio através do qual os gametas se locomovem para realizarem a fecundação;

¹ MILLER, E.C. **Plant physiology**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1938.

- Sua tensão superficial é a mais elevada que se conhece e molha com facilidade a maioria das substâncias sólidas naturais.

5.3 A ÁGUA NA NATUREZA

Com o progressivo aumento das populações e a evolução da civilização moderna, vêm crescendo as demandas de água para os inúmeros fins: domésticos, industriais e agrícolas. Isto porque, na sociedade atual, a água desempenha função sem precedentes (Macksoud², citado por Guerra, 1976).

Embora 3/4 da superfície terrestre sejam cobertos por água, as expectativas para o próximo século são preocupantes quanto à disponibilidade de água potável para o consumo humano, tanto pelo crescimento populacional como, principalmente, pela poluição dos reservatórios naturais, rios, lagos, depósitos subterrâneos, etc. Entre 1940 e 1960, o consumo total de água dobrou de 1 mil para 2 mil km³ ano⁻¹ de 1960 para 1990, saltou para 4,13 mil km³; e, no ano 2.000, prever-se atingir 5,19 mil km³ ano⁻¹ (Crise de água..., 1994). As estimativas são de que, ao final deste século, o consumo de água tenha aumentado em cerca de 10 vezes em relação ao ano de 1900, continuando a agricultura como o maior consumidor, embora que em menor proporção, 90,5% no ano de 1900 e cerca de 62,6% atualmente (Ghassemi *et al.*, 1995).

Por outro lado, cerca de 9.000 km³ de água doce são disponíveis para exploração humana em todo o mundo, o que seria suficiente para a manutenção de 20 bilhões de pessoas, correspondendo a cerca do triplo da população atual (La Rivière³, citado por Ghassemi, 1995). Entretanto, existem problemas sérios de distribuição. Países cuja disponibilidade de água não atinge 1 mil m³ hab⁻¹ ano⁻¹ sofrem de escassez de oferta. Em 1990, cerca de 20 países integravam o bloco dos deficitários, prevendo-se para 2.025 a inclusão de mais 10, entre os quais: Haiti, Marrocos, África do Sul, Síria, Etiópia, Egito, etc.

A água existe na natureza nas fases sólida, líquida e gasosa, como componentes do chamado ciclo hidrológico ou ciclo da água. O ciclo hidrológico é um ciclo contínuo em que a água no estado líquido se evapora da superfície da terra, dos oceanos e outras reservas e se incorpora à atmosfera no estado gasoso, retornando ao estado anterior sob a forma de chuva ou neve. Anualmente, a energia do sol faz com que um volume aproximado de 500 mil km³ de água se evapore, principalmente dos oceanos (Crise de água..., 1994). Do ponto de vista de suprimento de água para as plantas e uso em agricultura irrigada, é de grande interesse estudos que envolvam a água de chuva, água armazenada em reservatório de superfície e água subterrânea.

5.3.1 Água de chuva

A água de chuva é o componente mais importante do ciclo hidrológico por se constituir na principal fonte de uso pelas plantas através da reposição da capacidade de armazenamento hídrico do solo e do reabastecimento dos reservatórios de águas superficiais e subterrâneas. Estima-se que a contribuição do ciclo hidrológico, de água oriunda dos oceanos, para a terra firme apresenta um saldo positivo próximo de 40 mil

² MACKSOUD, H. Os rios e sua importância para a navegação e a energia hidroelétrica. **Revista Brasileira de Geografia**, v.22, n.2, p. 293, 1960.

³ LA RIVIÈRE, J.W.M. Threats to the world's water. **Scientific American**, p.48-55, Sep. 1989.

$\text{km}^3 \text{ano}^{-1}$, servindo como alimentador dos rios e recarga dos depósitos superficiais e subterrâneos (Crise de água..., 1994).

A média anual de precipitação na superfície da terra é da ordem de 800 mm (Chow *et al.*⁴, citados por Ghassemi *et al.*, 1995). Entretanto, o ciclo hidrológico distribui água irregularmente, tanto espacial como temporal, havendo regiões do globo com bom suprimento e outras com deficiências, onde as chuvas não são suficientes para atender a demanda potencial da cobertura vegetal. São exemplos de áreas deficientes: África, meio leste e oeste dos Estados Unidos da América, noroeste do México, nordeste semi-árido do Brasil, partes do Chile, Argentina e a maior parte da Austrália.

A chuva é uma forma de irrigação natural das lavouras com água praticamente isenta de sais, apresentando condutividade elétrica (CE) em torno de $0,010 \text{ dS m}^{-1}$ (Molle & Cadier, 1992), o que confere um ótimo sabor para consumo humano. A baixa concentração de sais na água de chuva é, no entanto, fator favorável à dispersão de partículas do solo causando problemas de infiltração (Ayers & Westcot, 1991)

Além do papel de alimentador dos seres vivos, a água de chuva pode eventualmente ter mais uma função de ordem física, assegurando uma lixiviação satisfatória de sais dos solos e amenizando os efeitos deletérios no desenvolvimento de plantas (Ayers, 1977; Scaloppi & Brito, 1986).

5.3.2 Águas de superfície

Entenda-se como águas de superfície as águas doces armazenadas em barragens, açudes, lagos, represas em geral e as contidas nos fluxos dos rios. Cerca de 2,5 % das águas da Terra, que corresponde a 35 milhões de km^3 , é considerada potável, entretanto, 24 milhões de km^3 desse total (1,74 %) estão indisponíveis por estocagem na forma de gelo ou neve no topo de montanhas ou nas calotas polares. O volume de água doce contido nos lagos é estimado em 91.000 km^3 , o que corresponde apenas a 0,007 % de toda água existente, e o volume dos rios compreende cerca de 2.120 km^3 (Crise de água..., 1994; Ghassemi *et al.*, 1995).

O Brasil possui o maior volume de água doce do mundo (8 % do total), dispondo de uma oferta de $46.631 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Entretanto, como no resto da Terra, a situação de distribuição é delicada, pois 80% se concentra na região Amazônica e o restante se distribui irregularmente para atendimento de 95 % da população (Um mundo de água..., 1996). Problemas de escassez são sentidos em várias partes do Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, necessitando de estudos para controle de uso desses recursos, de modo a não agravar a situação existente.

As principais fontes de água para irrigação são representadas pelas águas de superfície que são abastecidas pelas águas de chuva e apresentam maior facilidade de captação. Quanto ao uso, em geral, o descaso é muito grande, pois, conforme estimativas da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, o Brasil perde 50 % de sua produção de água simplesmente por desperdícios com vazamentos em equipamentos de adutoras e falta de controle de consumo. A água, embora vital à sobrevivência e ao progresso de

⁴ CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. **Applied hydrology**. New York, McGraw-Hill. 572p., 1988.

qualquer sociedade, só é lembrada como tal por ocasião do período de escassez ou de excesso (Rodriguez, 1991).

5.3.3 *Água subterrânea*

A água subterrânea estende-se por toda a parte sob a superfície do solo, distribuída desde as planícies mais áridas até os pontos mais altos do relevo terrestre e se constitui em uma das principais fontes de toda a água utilizável pelo homem. As reservas subterrâneas são abastecidas por infiltração lenta das águas superficiais, através dos solos e acomodam-se em camadas rochosas a diferentes profundidades, sendo mantidas, muitas vezes, sob pressão. São essas águas que abastecem os poços utilizados nas zonas rurais, pequenas e médias cidades.

Na natureza existe em torno de 10,53 milhões de km³ de reservas de águas subterrâneas, a profundidades abaixo de 600 m da superfície do solo, que correspondem a 0,76 % de toda a água disponível na terra e representa 37 vezes o volume armazenado em lagos e rios (O mapa da água...,1995; Ghassemi *et al.*, 1995).

Com um custo menor que o da água de superfície, a subterrânea deve ser tratada como reserva estratégica e protegida como recurso natural capaz de assegurar a sobrevivência humana com direito a boa qualidade de vida (Um mundo de água..., 1996).

No que diz respeito a gestão de águas, Rodriguez (1991) afirma que as águas subterrâneas não podem ter tratamento distinto das águas de superfície já que no ciclo hidrológico elas interagem. Os cursos de águas perenes se mantêm com as águas das chuvas que se infiltram e abastecem depósitos subterrâneos. Problemas, no entanto, podem surgir quando o uso consuntivo superar a recarga natural do manancial subterrâneo.

As águas subterrâneas tem temperatura pouco variável e geralmente acima da temperatura das águas de superfície, correspondendo a média anual de temperatura atmosférica do local acrescido do produto da profundidade pelo gradiente geométrico. Em geral não tem material em suspensão e o pH situa-se entre 6,5 e 8 numa espécie de tamponamento pela presença de CO₂ dissolvido e HCO₃⁻; as chamadas subterrâneas doces contém em geral não mais que 1.000 mg ℓ⁻¹ de substâncias dissolvidas.

5.3.4 *Água do mar*

O volume total de água na Terra é da ordem de 1,386 bilhões de km³, dos quais as águas dos mares e oceanos representam cerca de 96,5 % e não se adequam para uso humano. Se esse volume fosse espalhado de maneira uniforme na superfície da terra formaria um imenso oceano de 3.700 m de profundidade (Crise de água...,1994; Ghassemi *et al.*, 1995).

Os mares e oceanos se constituem em depósitos naturais de sais que são carreados pelas águas escoadas da superfície terrestre, tendo como parada final os pontos mais baixos do relevo, acumulando-se progressivamente ao longo de milênios de anos. A água do mar, no entanto, tem função básica de fomento do ciclo hidrológico através da evaporação, só participando dessa fase a água pura, permanecendo os sais que aí se acumulam. Os oceanos desenvolvem um papel fundamental no condicionamento de fatores climáticos do planeta com efeitos na temperatura, ocorrência e distribuição de

chuvas, etc. Dada a sua composição química, a água do mar tem condutividade elétrica em torno de 48 dS m^{-1} , o que corresponde a aproximadamente $36 \text{ g } \ell^{-1}$ de sais.

5.4 ADEQUABILIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A adequação da água para irrigação depende tanto de sua própria qualidade quanto de fatores relacionados com as condições de uso (Wilcox & Durum, 1967). Uma mesma qualidade de água pode ser considerada perfeitamente adequada para um certo tipo de solo ou cultura, mas ser inadequada para outros (Hoorn, 1971). A qualidade da água de irrigação pode ser considerada como um importante fator, mas nunca deve ser esquecido que ela é tão somente um dos fatores e que não é possível desenvolver um sistema de classificação universal que possa ser utilizado sob todas as circunstâncias (Logan, 1965; Hoorn, 1971; Yaron, 1973).

Para Frenkel (1984), a água por si mesma não tem qualidade inerente, exceto no contexto para o qual é usada, pois sua adequabilidade depende do que pode ser feito com ela sob condições específicas de uso.

Assim, além das características físico-químicas da água, outros fatores devem ser levados em consideração e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação. Entre esses fatores, podem ser apontados: as características do solo; a tolerância das culturas a serem exploradas; as condições climáticas locais e o manejo da irrigação e drenagem (Logan, 1965; Palacios & Aceves, 1970; Hoorn, 1971; Rhoades, 1972; Kovda *et al.*, 1973; Christiansen *et al.*, 1977, Frenkel, 1984).

5.4.1 Características da água de irrigação

A rigor, todas as águas naturais, quer sejam elas de origem pluvial, superficial (rios, lagos e açudes) ou subterrânea (poços e cacimbas), contêm sais dissolvidos em quantidades variadas (Jackson, 1958; Kovda *et al.*, 1973; Yaron, 1973; Kamphorst & Bolt, 1976).

A variação na composição e qualidade das águas destinadas à irrigação depende da zona climática, fonte da água, trajeto percorrido, época do ano, geologia da região e desenvolvimento da irrigação (Shalhevet & Kamburov, 1976). Geralmente, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais do que as de zonas áridas; águas subterrâneas são mais salinas do que as águas de rios e estas, próximo da foz, contêm mais sais do que as próximas à nascente; a concentração de sais nas águas de rios varia com a estação do ano, sendo maior no outono que na primavera. Numa determinada região, as águas naturalmente contêm menos sais antes do desenvolvimento de projetos de irrigação.

Segundo Cruz & Melo (1969), os principais fatores que controlam a salinização das águas subterrâneas na região Nordeste, por ordem de importância, são: 1) quantidade de chuvas; 2) tipo do aquífero; 3) condição de circulação (em zoneamentos verticais, dependendo do comprimento, da trajetória e do tempo de contato há alteração na composição iônica da água) e 4) natureza geológica (composição litológica). No mesmo sentido, Santos *et al.* (1984) afirmam que, em aquífero fraturado da região do cristalino do Rio Grande do Norte, a salinidade das águas provavelmente está associada a composição dos diferentes tipos de solos que predominam no ambiente.

O teor de sais nas águas superficiais é função das rochas predominantes nas nascentes da bacia hidrográfica, da natureza do solo em que a água flui e de eventuais poluições causadas pela atividade humana (Kovda *et al.*, 1973; Yaron, 1973). Quanto as subterrâneas o teor de sais depende da origem da água, do curso sobre o qual ela flui e da composição e facilidade de dissolução do substrato em que se encontra em contato (Yaron, 1973; Kovda *et al.*, 1973). As mudanças no teor de sais no processo de recarga resultam por reações de redução, troca catiônica, evapotranspiração e precipitação (Yaron, 1973). Molle & Cadier (1992) mencionam que os primeiros escoamentos que chegam aos reservatórios, no momento das cheias, são de boa qualidade; os posteriores, incorporam águas infiltradas que voltam aos rios por escoamento subterrâneo e podem vir carregadas de sais. Conforme os mesmos autores, diversos são os fatores que influem no risco de salinização das águas de superfície armazenadas: a qualidade da água escoada, a profundidade e forma do reservatório, o dimensionamento, a utilização e infiltração na bacia hidrográfica.

A composição da água de superfície pode ser alterada por influência da pluviosidade e da evaporação (Yaron, 1973). A perda por evaporação é responsável pela elevação progressiva da concentração de sais nas águas de superfície (Srinivasan *et al.*, 1986; Molle & Cadier, 1992) e associada às propriedades químicas das rochas/solos atravessados por elas são as principais causas de variação no teor de sais nas regiões áridas e semi-áridas (Costa & Gheyi, 1984). Leprun (1983) constatou que a composição da água de açudes varia entre a estação chuvosa e a seca. Do inverno para o verão, as concentrações de sódio e cloro crescem enquanto que as de cálcio, potássio, sulfato e, principalmente, bicarbonato diminuem relativamente.

5.4.2 Características do solo

O comportamento do solo em contato com água salina depende de suas propriedades físicas e conteúdo de sais iniciais (Kovda *et al.*, 1973). Assim, o conteúdo de argila do solo afeta a capacidade de adsorção de íons que, por sua vez, influencia as propriedades físico-hídricas do mesmo.

Segundo Kovda *et al.* (1973), tendo em vista que a composição química do solo influencia os processos de troca durante o contato solo-água, a aplicação de água salina num solo sem problema de salinidade transforma-o em salino, porém o uso de água desta mesma qualidade pode reduzir o nível de salinidade de um solo salinizado, se a drenagem for adequada.

Ademais, como a infiltração e percolação de água podem variar bastante para diferentes tipos de solo, diferentes graus de salinização do solo podem ocorrer com a mesma quantidade e qualidade de água de irrigação aplicada (Kovda *et al.*, 1973).

A adequação da água em relação ao tipo de solo se refere principalmente aos aspectos estruturais que condicionam à sua permeabilidade e conseqüente condução de água e ar. Solos de baixa permeabilidade causam maiores problemas em terras irrigadas, limitando a lixiviação de sais, favorecendo a dispersão de partículas e intensificando o grau de salinização.

O tipo de solo da bacia hidrográfica pode ser o indicador do risco de salinização das águas de superfície (Leprun, 1983; Laraque, 1989). A influência depende do escoamento interno que, por sua vez, varia quantitativamente com a permeabilidade do solo e qualitativamente com a disponibilidade de sais. Os Latossolos são solos bem desenvolvidos e bastante permeáveis, entretanto, por serem continuamente lavados dispõem de pouquíssimos sais para liberação. Os Planossolos permitem boa infiltração na camada arenosa superior, mas as argilas das camadas inferiores podem liberar grandes quantidades de sais. O escoamento subterrâneo é desprezível sob condições de solo pouco espesso, de baixa permeabilidade e com subsolo impermeável como no caso do substrato cristalino do sertão (Molle & Cadier, 1992).

A influência do tipo de solo da bacia hidrográfica na qualidade de água de riacho em condições do semi-árido nordestino brasileiro pode ser observada na Tabela 5.1, com destaque para os Solonetz e Planossolos, que são solos afetados por sais, como os que apresentam maior risco de salinização da água.

Tabela 5.1 Condutividade elétrica média da água (CE_a) de riacho em função do tipo de solo.

Tipo de Solo	CE_a (dS m ⁻¹)
Areias quartzosas	0,098
Latossolos	0,188
Podzólicos	0,226
Bruno não-cálcicos	0,329
Vertissolos	0,484
Litólicos eutróficos	0,621
Solonetz	2,817
Planossolos	4,596

Fonte: Leprun (1983)

5.4.3 Tolerância das culturas à salinidade

Tendo em vista que o maior interesse na classificação da água é com fins agrônômicos, a cultura é o principal e mais importante fator a ser considerado. Para Hoorn (1971) e Kovda *et al.* (1973), a avaliação da água deve ser baseada na tolerância de uma cultura específica, ou culturas em rotação, ao conteúdo total de sais ou concentração de um íon específico (sódio, cloreto, etc.).

Como o objetivo final de todo projeto de irrigação é uma agricultura rentável, uma redução dos benefícios econômicos ou sociais em decorrência do problema de salinidade é um fator decisivo para a execução do projeto. Segundo Hoorn (1971), esta redução deve-se tanto a um decréscimo direto na produção quanto ao fato de se ter que mudar de culturas menos tolerantes para mais tolerantes à salinidade, que podem ser menos rentáveis sob determinado ponto de vista. Por exemplo, a troca de uma hortaliça de alto valor comercial e que requeira bastante mão-de-obra por culturas forrageiras de baixo valor comercial e que empregue pouco trabalho.

Dada a grande variabilidade de comportamento existente entre as culturas em relação aos limites de tolerância à salinidade, a adequabilidade da água é bastante influenciada, variando, desde as classes que se adequam para irrigação de culturas bastante tolerantes a sais, como o algodão, até àquelas que podem não se adequar para culturas muito sensíveis, como as hortaliças e espécies frutícolas, em geral. Dentro de uma mesma espécie, pode haver variações entre variedades, por adaptação ao meio onde se desenvolveram e ,ainda, para uma mesma variedade, o nível de tolerância varia entre estádios de desenvolvimento (Maas & Hoffmann, 1977; Maas, 1986).

5.4.4 Condições climáticas locais

O clima atua como um dos fatores mais importantes na adequação da água; as plantas suportam maiores concentrações de sais sob clima frio e úmido do que sob clima quente e seco (Shainberg & Oster, 1978; Maas, 1985 e 1986).

A evapotranspiração e a pluviosidade são os principais elementos climáticos a serem considerados para a avaliação da água de irrigação (Hoorn, 1971; Kovda *et al.*, 1973). A quantidade de água a ser aplicada durante um período de irrigação depende da evapotranspiração, que afeta o regime de irrigação e, conseqüentemente, o movimento sazonal de sais no perfil do solo. Maior evapotranspiração requer uma maior quantidade de água de irrigação, que, por sua vez, leva a uma maior quantidade de sais e, geralmente, a uma maior salinidade do solo, embora parte seja lixiviado (Hoorn, 1971).

A quantidade e a distribuição das chuvas é um segundo fator do clima a ser dado atenção. Uma dada quantidade de chuva distribuída uniformemente durante a estação de crescimento diluirá a solução do solo, mas não efetuará uma lixiviação do perfil da mesma forma como faria igual quantidade de chuva caindo durante um curto espaço de tempo (Hoorn, 1971; Kovda *et al.*, 1973).

A salinidade reduz mais os rendimentos das culturas quando a umidade atmosférica é baixa (Rhoades *et al.*, 1992). Sob condições de baixa umidade do ar, altas temperaturas e elevada velocidade dos ventos, a toxicidade causada pela irrigação por aspersão é intensificada, com redução do limite de tolerância das culturas (Maas, 1985; Ayers & Westcot, 1991).

5.4.5 Manejo da irrigação e drenagem

Os métodos de irrigação influenciam na acumulação de sais no solo e na planta. Por exemplo, uma água relativamente salina aplicada por sulcos em solos permeáveis não trará nenhum efeito prejudicial ao crescimento da planta, enquanto, água de mesma qualidade aplicada por aspersão, poderá causar redução na produtividade (Kovda *et al.*, 1973).

A aplicação de quantidades de água menores que o requerimento hídrico das culturas resultará na acumulação de sais na zona radicular; por outro lado, aumentando-se a aplicação, haverá lixiviação de sais para pontos abaixo da zona das raízes e, um equilíbrio poderá ser alcançado entre a concentração salina da água e do solo (Hoorn, 1971; Kovda *et al.*, 1973). Porém, uma drenagem inadequada, numa área com um lençol freático elevado, provocará uma ascensão capilar da água subterrânea, aumentando a salinidade do solo (Kovda *et al.*, 1973).

Tanto o método como a frequência de irrigação interferem na adequação da água e tolerância das plantas à salinidade. Em métodos de irrigação por superfície (como inundação ou sulcos) e localizada (gotejamento), a concentração de sais suportada pelas culturas é bem mais elevada do que no método de irrigação por aspersão. Ainda na irrigação por aspersão, o impacto das gotas grandes na superfície do solo, pode desagregar as partículas e provocar ou agravar os problemas de infiltração, causando

escoamento superficial. A irrigação por inundação associada a prática da subsolagem reduziu a sodicidade em todo o perfil de um solo salino-sódico (Holanda, 1996).

Conforme Rhoades & Merrill (1976), a salinidade média da água do solo, em dado intervalo de tempo, é maior em solos que são irrigados com menor frequência, quando se mantêm os outros fatores constantes.

A não observância de determinados princípios básicos, como a escolha do método de irrigação apropriado para a aplicação de água de qualidade conveniente, conduz, quase sempre, a deterioração das propriedades físicas e químicas do solo, limitando com isso o potencial produtivo das culturas (Amorim, 1994). O aprimoramento do manejo da irrigação será indispensável, portanto, para se obter uma produção agrícola sustentável e atender às crescentes demandas de alimentos nos países em desenvolvimento (Jensen *et al.*, 1990).

5.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A prática da irrigação é indispensável nas regiões áridas e semi-áridas em virtude da ocorrência de déficit hídrico para culturas na época seca. A acumulação de água no período chuvoso alternado com o aumento de evaporação na estação seca promovem uma variação quantitativa e qualitativa no teor de sais das águas com implicações para uso na irrigação (Nunes Filho *et al.*, 1991) e esta, pode ser fator de salinização quando não manejada adequadamente (Pizarro, 1985, Hoorn & Alphen, 1988). É portanto, imprescindível a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas.

As águas que se destinam a irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da qualidade agrônômica das mesmas. O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), com danos nas suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade, diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico. Em algumas situações, o efeito iônico pode se manifestar na forma de desequilíbrio nutricional.

5.5.1 Parâmetros que determinam a qualidade da água

O excesso de sais na zona radicular tem em geral um efeito deletério no crescimento das plantas que se manifesta por uma equivalente redução na taxa de transpiração e crescimento. A excessiva salinidade reduz o desenvolvimento devido ao aumento de energia que precisa ser despendida para absorver água do solo e ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse (Rhoades *et al.*, 1992).

A CE é o parâmetro mais empregado para expressar a concentração de sais solúveis na água. A determinação é rápida e tem boa precisão para a maioria das águas (Doneen, 1975). Este parâmetro é o oposto da resistividade elétrica e corresponde a medida da capacidade de uma água em conduzir eletricidade, crescendo

proporcionalmente à medida que a concentração de sais aumenta. A água pura tem uma condutividade elétrica (CE) muito baixa, da ordem de $0,05 \mu\text{S cm}^{-1}$, podendo crescer muito ao conter impurezas ou substâncias dissolvidas e se tornar um bom condutor elétrico. Como a condutividade elétrica aumenta com a temperatura ambiente, o valor é medido a uma temperatura de referência, geralmente, 25°C .

A condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a), conforme Rhoades *et al.* (1992), apresenta as seguintes relações com outros parâmetros de salinidade:

Totais de sólidos dissolvidos - TSD ($\text{mg. } \ell^{-1}$) $\cong \text{CE}_a \times 640$ ($0,1 < \text{CE}_a < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$)

Totais de sólidos dissolvidos - TSD ($\text{mg. } \ell^{-1}$) $\cong \text{CE}_a \times 800$ ($\text{CE}_a > 5,0 \text{ dS m}^{-1}$)

Soma de cátions ou ânions ($\text{mmol}_c. \ell^{-1}$) $\cong \text{CE}_a \times 10$ ($0,1 < \text{CE}_a < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$)

Log. sais solúveis totais ($\text{mmol}_c. \ell^{-1}$) $\cong 0,990 + 1,055 \cdot \log \text{CE}_a$

Força iônica ($\text{mol. } \ell^{-1}$) $\cong \text{CE}_a \times 0,0127$

Pressão osmótica (kPa) $\cong \text{CE}_a \times 0,40 \cdot 10^{-2}$ ($3 < \text{CE}_a < 30 \text{ dS m}^{-1}$)

Está amplamente comprovado que valores altos da PST, especialmente sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas com redução na condutividade hidráulica do solo. A razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação é o parâmetro de melhor correlação com a PST do solo (ver Capítulo 2). Richards (1954) foi o primeiro a introduzir esse conceito num sistema de classificação de águas para irrigação que passou a ser usado e conhecido internacionalmente pelo seu próprio nome.

Ultimamente, o risco de sodicidade passou a ser avaliado com mais segurança relacionando a RAS corrigida (RAS°) com a salinidade da água, estimada pela Equação 5.1:

$$\text{RAS}^\circ = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^\circ + \text{Mg})}{2}}} \quad (5.1)$$

onde,

Na - Concentração de sódio na água, em $\text{mmol}_c \ell^{-1}$;

Ca° - Concentração de cálcio na água, corrigida pela relação HCO_3^-/Ca ($\text{mmol}_c \ell^{-1}$) e CE_a (dS.m^{-1}), de acordo com a Tabela 5.2;

Mg - Concentração de Magnésio na água, em $\text{mmol}_c \ell^{-1}$.

A RAS° , conforme procedimento sugerido por Suarez (1981), facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos. Como as águas do nordeste do Brasil, normalmente são pobres em sulfatos (Medeiros, 1992), este estimador é mais adequado para prever riscos de sodificação ou de infiltração de água no solo.

Algumas espécies iônicas constituem parâmetros de importância pela toxicidade que podem causar às plantas. Os íons cloreto, sódio e boro, quando presentes em concentrações elevadas na água, podem causar danos às culturas reduzindo a produção. A magnitude do dano depende, além da concentração do íon, do tempo de exposição, da sensibilidade das plantas, do uso da água pelas culturas, do tipo de irrigação, etc. (Maas, 1985). Em irrigação por aspersão e sob condições de alta evaporação o problema tende a se acentuar. As culturas arbóreas e plantas lenhosas em geral são sensíveis ao sódio e cloreto (Maas, 1986).

Entre os macronutrientes essenciais à nutrição vegetal destaca-se o nitrogênio que, quando em concentrações elevadas na água de irrigação, pode causar desequilíbrio nutricional, induzindo em plantas sensíveis (citros, beterraba, videira, etc.) um aumento no crescimento vegetativo, um decréscimo na produção e na qualidade do produto, além de atrasar a maturação. É um parâmetro cuja determinação é necessária principalmente em águas residuais e com altos teores de matéria orgânica.

Tabela 5.2 Concentração de cálcio (Ca^0) contida na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO_3/Ca e CE_a ^{1,2,3}

Valor de HCO_3/Ca da Água	Salinidade da Água Aplicada (CE_a) - dS.m^{-1}											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,06	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07

4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,0	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,0	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

¹Fonte: Suarez (1981).

²Supõe-se: a) Cálcio do solo proveniente do calcário (CaCO₃) ou silicatos ; b) Não existe precipitação do Magnésio; c) Pressão parcial de CO₂ perto da superfície do solo (pCO₂) é 7.10⁻² kPa.

³Ca^o e HCO₃/Ca são expressos em mmol_c. ℓ⁻¹, e a CE_a, em dS.m⁻¹.

Usualmente os parâmetros referentes a metais pesados (Pb, Cr, Cd, Ni, etc.) não são incluídos na avaliação de qualidade de água de irrigação, exceto quando suspeita-se de contaminação pela ação do homem.

Outros parâmetros como: pH, potássio, carbonatos, bicarbonatos e sulfatos também são considerados quando da avaliação da qualidade da água de irrigação. Nas águas ricas em bicarbonato há uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio, em forma de carbonato, à medida que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade (Yaron, 1973; Kovda *et al.*, 1973; Bohn *et al.*, 1985) cujo efeito é prevenido pela correção da RAS conforme a Tabela 5.2.

Em resumo, os parâmetros básicos de avaliação da qualidade de água para irrigação, acompanhados dos respectivos símbolos e unidades internacionais adotadas estão contidos na Tabela 5.3. No caso de irrigação localizada é necessário a inclusão de mais alguns parâmetros prevenindo-se quanto ao entupimento de emissores (ver tabela 5.10).

Tabela 5.3 Principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água para irrigação.

Parâmetros	Símbolo	Unidade
Acidez	pH	-
Condutividade elétrica	CE _a	dS.m ⁻¹ (25 °C)
Cálcio	Ca ⁺⁺	mmol _c ℓ ⁻¹
Magnésio	Mg ⁺⁺	mmol _c ℓ ⁻¹
Sódio	Na ⁺	mmol _c ℓ ⁻¹
Potássio	K ⁺	mmol _c ℓ ⁻¹
Cloreto	Cl ⁻	mmol _c ℓ ⁻¹
Sulfato	SO ₄ ⁼	mmol _c ℓ ⁻¹
Carbonato	CO ₃ ⁼	mmol _c ℓ ⁻¹
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	mmol _c ℓ ⁻¹
Nitrogênio	(NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻)	mg ℓ ⁻¹

Boro	B	mg ℓ^{-1}
Totais de sólidos dissolvidos	TSD	mg ℓ^{-1}
Relação de adsorção de sódio	RAS ^o	(mmol _c ℓ^{-1}) ^{1/2}

5.5.2 Coleta de água para avaliação

As amostras de água deverão ser coletadas, preferencialmente, em garrafas plásticas que devem ser fechadas hermeticamente. Cada fonte de água deverá ser amostrada separadamente, mesmo que essas fontes se encontrem em locais bem próximos um do outro. Antes de se coletar a amostra, a garrafa deverá ser lavada pelo menos 2 a 3 vezes com a mesma água a ser amostrada.

No caso de coleta de água de rio, açude ou riacho, quando possível, a amostragem próxima à margem deverá ser evitada. Após a lavagem, a garrafa (volume em torno de 1 litro) é introduzida na água com a boca fechada a uma profundidade de 4 a 5 cm. Enche-se completamente a garrafa dentro da água e em seguida a mesma é fechada hermeticamente. No caso de amostragem em poços, a coleta deverá ser feita depois que a bomba funcionar pelo menos 15 a 20 minutos, para retirada total da água parada no sistema. Sempre que possível, a amostra deve ser coletada perto do local onde será utilizada, visto que a água pode sofrer variações na sua composição, mesmo em tubos de PVC, durante sua condução.

Assim como em solos, a amostra de água deverá ser identificada com indicações do local, propriedade, fonte e responsável pela coleta. Informações adicionais, tais como vazão de poços, características do solo e da cultura a ser irrigada, se disponíveis, deverão ser enviadas ao laboratório.

A amostra de água coletada deverá ser transportada para o laboratório o mais breve possível, preferencialmente nas primeiras 72 horas. Não sendo possível, a mesma deve ser guardada em geladeira. Para análise de nitrogênio a determinação deve ser feita no máximo 24 horas após a coleta. Outrossim, para determinação de Mn e Fe na água (características indispensáveis em irrigação localizada) precisa-se acidificar a água coletada com o objetivo de evitar a precipitação desses elementos.

5.5.3 Procedimentos analíticos

O processo de análise de água é mais simples que o de solo ou plantas por não necessitar da etapa de extração; os elementos se encontram naturalmente em solução. As determinações de pH e CE são feitas diretamente com leitura das amostras respectivamente em peagâmetro e condutivímetro, previamente regulados.

Cálcio, magnésio, sódio e potássio são determinados com o auxílio de curvas padrões, em equipamentos de espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) e de fotometria de chama (Na e K), bastando adequar às concentrações dos padrões e diluições das amostras em níveis compatíveis para as determinações, conforme Tedesco *et al.* (1985).

Carbonato e bicarbonato são determinados por titulometria com ácido sulfúrico $0,02 \text{ mmol}_c \ell^{-1}$, usando como pH de referência os valores 8,3 e 4,5 respectivamente. O cloreto é avaliado por volumetria de precipitação com nitrato de prata e o sulfato por via turbidimétrica usando cloreto de bário, de acordo com Vitti (1989).

A determinação de boro pode ser feita em fotocolorímetro utilizando-se o método da curcumina empregando-se um comprimento de onda de 540 nm, enquanto, o nitrogênio é avaliado pelo método do micro kjedahl apresentado por Tedesco *et al.* (1985).

5.6 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

5.6.1 Classes de água quanto ao risco de salinidade

Numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C_1 , C_2 , C_3 e C_4 , com os limites apresentados por Richards (1954) e, por conveniência, também adotados como índices de salinidade por Frenkel (1984), conforme mostra a Tabela 5.4, com as seguintes interpretações:

C_1 - Água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessário alguma lixiviação de sais, esta é conseguida em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade.

C_2 - Água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos se adequa ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.

C_3 - Água de alta salinidade. Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode ser necessário práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido.

C_4 - Água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Tabela 5.4 Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.

Classe de	Richards (1954)	UCCC ¹	Risco de	Ayers & Westcot (1991)
	Faixas de CE_a ($dS \cdot m^{-1}$)			Faixa de CE_a

Salinidade		Salinidade (dS.m ⁻¹)		Salinidade	
C ₁	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,7	nenhum
C ₂	0,25 - 0,75	0,75 - 1,50	Médio	0,7 - 3,0	moderado
C ₃	0,75 - 2,25	1,50 - 3,00	Alto	> 3,0	severo
C ₄	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

¹ UCCC - University of California Committee of Consultants (Fonte: Frenkel, 1984 ; Pizarro, 1985)..

A salinidade afeta tanto o crescimento das plantas como a produção e qualidade do produto, se manifestando principalmente na redução da população e desenvolvimento das culturas, com sintoma similar ao causado por estresse hídrico (Rhoades *et al.*, 1992). As culturas, no entanto, se comportam diferentemente quanto à tolerância a sais na água de irrigação desde as mais tolerantes como o algodão até as mais sensíveis como a maioria das hortaliças, conforme apresentado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Níveis de tolerância à salinidade da água, apresentados por diferentes culturas, para 90 % do rendimento potencial

CULTURAS	C E _a (dS.m ⁻¹ a 25°C)	CULTURAS	CE _a (dS.m ⁻¹ a 25°C)
Culturas Extensivas		Fruteiras	
Cevada	6,7	Tamareira	4,5
Algodoeiro	6,4	Figueira	2,6
Beterraba-açucareira	5,8	Videira	1,7
Sorgo	5,0	Citros/Cidra/Macieira	1,6
Trigo	4,9	Ameixeira/Pessegueiro	1,4
Soja	3,7	Amoreira	1,3
Amendoim	3,2	Abacateiro	1,2
Arroz	2,6	Bananeira	1,1
Feijão <i>Vigna</i> /Cana de açúcar	2,3	Morangueiro	0,9
Milho	1,7	Forrageiras	
Feijão <i>Phaseolus</i>	1,0	Capim-bermuda	5,7
Hortaliças		Azevém/Centeio	4,6
Abobrinha	2,6	Cornichão de folha estreita	4,0
Melão	2,4	Capim-sudão	3,4
Tomateiro	2,3	Ervilhaca	2,6
Espinafre/Pepino	2,2	Alfafa	2,2
Repolho	1,9	Capim-mimoso	2,1
Batatinha	1,7	Trevo	1,6
Batata-doce	1,6	Ornamentais¹	
Pimentão	1,5	Bauganville	>8
Alface	1,4	Magnólia	4-6
Rabanete	1,3	Papola	3-4
Cebola	1,2	Roseira	2-3
Cenoura	1,1	Jasmim-estrela	1-2

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1991); Rhoades *et al.* (1992). ¹ valores para 100% do potencial.

5.6.2 CLASSES DE ÁGUA QUANTO AO RISCO DE SODICIDADE

A classificação das águas de irrigação com respeito a RAS se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. Richards (1954) dividiu as águas em quatro classes tomando por base valores limites da RAS, em função da CE_a, com as seguintes interpretações:

S₁ (RAS < 18,87 - 4,44.log CE_a) - água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável. Entretanto, culturas

sensíveis como fruteiras de caroço: pessegueiro, ameixeira, abacate etc., podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.

S_2 ($18,87 - 4,44.\log CE_a < RAS < 31,31 - 6,66.\log CE_a$) - água de sodicidade média ou com média concentração de sódio. Em solos de textura fina (argilosos) o sódio dessa classe de água representa um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade. Por outro lado, essas águas podem ser usadas em solos de textura grossa (arenosos) ou em solos orgânicos de boa permeabilidade.

S_3 ($31,31 - 6,66.\log CE_a < RAS < 43,75 - 8,87.\log CE_a$) - água de alta sodicidade ou com alta concentração de sódio. Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e adição de condicionadores químicos ou orgânicos.

S_4 ($RAS > 43,75 - 8,87.\log CE_a$) - água de muito alta sodicidade ou de muito alta concentração de sódio. É uma classe inadequada para irrigação exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução do cálcio do solo e a aplicação de condicionadores não se torna antieconômica.

A classificação de Richards (1954), conforme apresentada na Figura 5.1, foi de muita utilidade como guia para classificação das águas de irrigação, numa época que pouco se conhecia do assunto. Ainda hoje, continua sendo bastante utilizada, embora estudos posteriores tenham mostrado alguns inconvenientes. Pizarro (1985) aponta como principais problemas dessa classificação: 1) a suposição de que o cálcio e magnésio tem a mesma seletividade de troca iônica, o que não corresponde a realidade; para uma mesma RAS a adsorção de sódio cresce ao aumentar a relação Mg/Ca devido a menor energia de adsorção do magnésio; 2) Não leva em conta a possibilidade de precipitação de sais, fenômeno que pode aumentar o risco de sodicidade, já que o cálcio é o cátion mais sujeito a reação, precipitando na forma de carbonato e sulfato que são de baixa solubilidade e 3) a classificação tem um erro conceitual, pois, os sais da solução do solo tem um efeito floculante, oposto ao efeito dispersante do sódio trocável; dessa forma, para uma mesma RAS o risco de sodicidade será menor quanto maior for a CE_a . Assim, as linhas descendentes no diagrama de classificação passam a ser ascendentes conforme figura 5.2, traçada empiricamente com os valores das classes de salinidade do UCCC, citado por Pizarro (1985) e das classes de sodicidade/infiltração apresentada por Ayers & Westcot (1991). Das dezesseis classes previstas da combinação da salinidade com a sodicidade na classificação de Richards (1954), seis não existem sob condições naturais (Bhumbla, 1977).

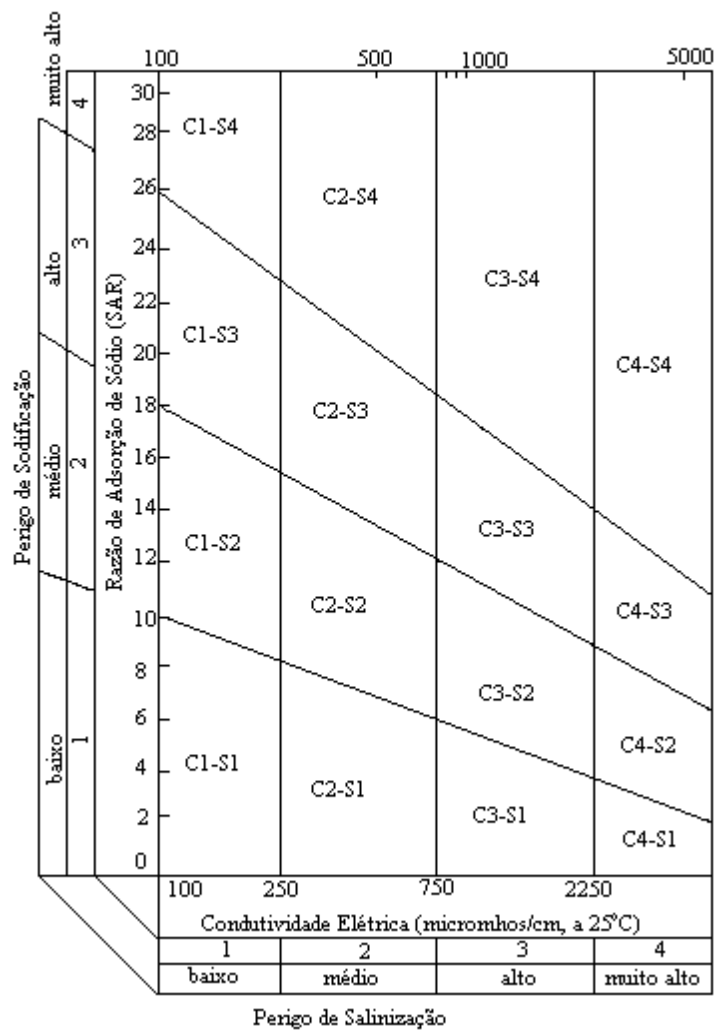


Figura 5.1 Diagrama de classificação de água (Richards, 1954).

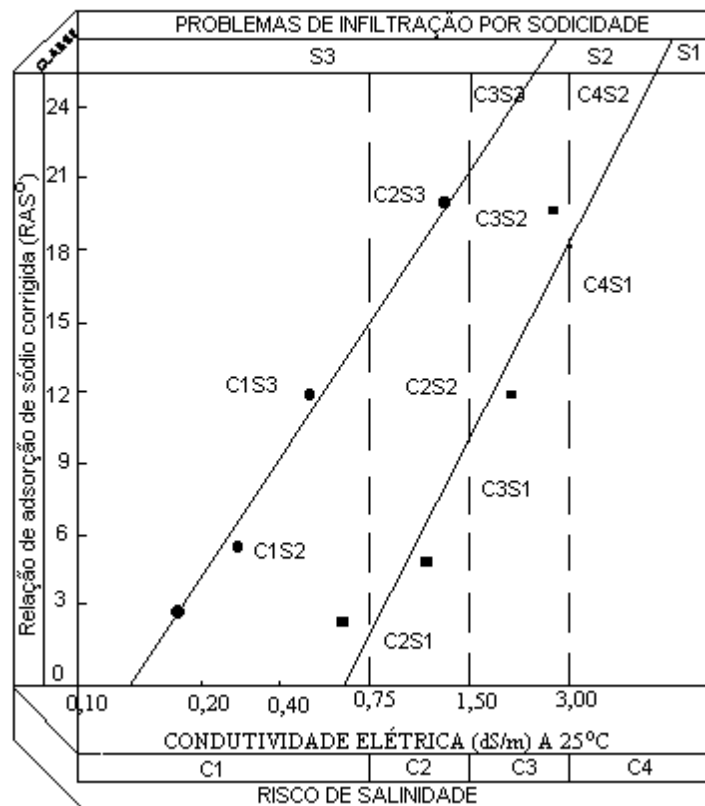


Figura 5.2 Diagrama aproximado de classes de água para irrigação

A recomendação de Ayers Westcot (1991), quanto ao perigo de sódio, restringe-se a três classes de sodicidade, obtidas relacionando-se a RASº com a salinidade da água de irrigação, conforme Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

RASº	CLASSES DE SODICIDADE ¹		
	S ₁ Sem Problemas	S ₂ Problemas Crescentes	S ₃ Problemas Severos
.....(mmol _c ℓ ⁻¹) ^½CE _a (dS.m ⁻¹).....		
0-3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3-6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6-12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12-20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20-40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1991). ¹ Simbologia (S) não se refere a classificação de Richards (1954); foi inserida para resumir a descrição da classe.

5.6.3 Classes de água quanto ao risco de toxicidade

Os elementos mais propensos a causarem toxidez nas plantas, em decorrência de concentrações elevadas na água de irrigação, são: sódio, cloro e boro. Quanto aos riscos que apresentam, de acordo com Ayers & Westcot (1991) podem ser divididos em três classes (Tabela 5.7). Na irrigação por aspersão foliar, quando há uma exposição direta da parte mais sensível da planta à água contendo elevados teores de sais, os problemas de toxicidade tendem a se intensificarem (Maas, 1985 e 1986; Ayers & Westcot, 1991) e as culturas se subdividem quanto ao limite de tolerância ao sódio e cloreto conforme Tabela 5.8.

Tabela 5.7 Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade às plantas.

Íon	Classes de toxicidade da água ¹		
	T ₁ Nenhum problema	T ₂ Problema moderado	T ₃ Problema severo
Sódio ou Cloreto (mmol _c ℓ ⁻¹):			
- Irrigação por superfície	< 3	3 - 9	> 9
- Irrigação por aspersão	< 3	> 3	
Boro (mg ℓ ⁻¹)	< 0,7	0,7 - 3,0	>3,0

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1991). ¹ Simbologia (T) não contida nos artigos originais; inserida neste item para resumir descrição da classe.

Tabela 5.8 Tolerância relativa de algumas culturas a sódio e cloreto em água aplicada por aspersão.

Concentração de Na ⁺ ou Cl ⁻ que causa dano foliar (mmol _c ℓ ⁻¹)			
< 5,0	5 - 10	10 - 20	>20
Ameixeira	Batatinha	Alfafa	Algodoeiro
Amendoeira	Pimentão	Cártamo	Beterraba-açucareira
Citros	Tomateiro	Cevada	Couve-flor
Damasqueiro	Videira	Gergelim	Girassol
		Milho/Sorgo	Morangueiro
		Pepino	

Fonte: Adaptado de Maas (1985).

Quanto aos riscos de desequilíbrio nutricional nas plantas, por excesso de nitrogênio na água de irrigação, Ayers & Westcot (1991) apresentam a seguinte classificação (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 Concentrações de nitrogênio na água com respectivos riscos de desequilíbrio nutricional nas plantas.

Nutriente	Risco de desequilíbrio nutricional		
	Nenhum problema	Problema moderado	Problemas severo
Nitrogênio N-NO ₃ (mg ℓ ⁻¹)	< 5	5-30	> 30

Fonte: Ayers & Westcot (1991).

Os conceitos de salinidade, sodicidade e toxicidade iônica aqui apresentados são aplicáveis também para irrigação localizada, ressaltando-se, porém, que deve se levar em conta a qualidade da água do ponto de vista de possíveis entupimentos de emissores causados por problemas de ordem física, química e/ou biológica (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 Influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada

Problemas	Unidades	Grau de restrição de uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos suspensão	mg ℓ ⁻¹	<50	50-100	>100
Químicos				
pH		<7,0	7,0-8,0	>8,0
Sólidos solúveis	mg ℓ ⁻¹	<500	500-2.000	>2.000
Manganês	mg ℓ ⁻¹	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Ferro	mg ℓ ⁻¹	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Ácido Sulfídrico	mg ℓ ⁻¹	<0,5	0,5-2,0	>2,0
Biológicos				
População bactéria	N ⁰ max. ml ⁻¹	<10.000	10.000-50.000	>50.000

Fonte: Nakayama (citado por Ayers & Westcot, 1991).

Medeiros & Gheyi (1994) enfatizam a necessidade do desenvolvimento de um sistema de classificação de água, próprio para as condições brasileiras, como medida para se ter um prognóstico seguro de seu efeito quando usada em irrigação. Enquanto não se define um sistema de tal natureza se sugere que, para classificação quanto a salinidade seja utilizada a proposição do UCCC citada por Frenkel (1984) e Pizarro (1985) por não ser conservadora como a de Richards (1954) nem generalista como a apresentada por Ayers & Westcot (1991). Com respeito a sodicidade ou problemas de infiltração e a toxicidade iônica, as diretrizes apresentadas por Ayers & Westcot (1991) são adequadas.

Considerando que as variáveis fundamentais para avaliação da qualidade das águas de irrigação compreendem: salinidade, sodicidade e toxicidade iônica, se sugere aos laboratórios de análises que, para a classificação sejam mantidas as letras de costume C e S com acréscimo da letra T, correspondendo aos riscos de salinidade, sodicidade e toxicidade, respectivamente. Todas as letras devem ser acompanhadas de um número subscrito (1,2,3 ou 4) designando a intensidade do problema apresentado. Assim, por exemplo, C₁S₂T₁ seria a interpretação de uma água de baixa salinidade, média sodicidade e sem problemas de toxicidade; conseqüentemente o seu uso em irrigação não traria nenhum risco de salinidade para o solo, poderia provocar problemas moderados de infiltração e não apresentaria nenhum risco de toxidez para as plantas.

5.7 QUALIDADE DA ÁGUA DE MANANCIAIS DO NORDESTE

No Nordeste semiárido do Brasil, os reservatórios de água de maior capacidade de armazenamento, geralmente, contém água de boa qualidade para irrigação, com pequena variação na composição ao longo do ano (Tabela 5.11). Medeiros (1992), estudando as águas utilizadas na pequena irrigação nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, constatou que existe consideráveis variações nas suas características durante o ano, principalmente naquelas oriundas de poços amazonas e naturais, em leitos de rios/riachos e pequenos e médios açudes. Além dessas fontes, poderia se acrescentar as águas contidas em lagoas, como de maior variação na composição química em relação ao tempo ou estação climática.

Em levantamentos de avaliação de qualidade de água para irrigação realizados em Estados do Nordeste e considerando como de boa qualidade as que apresentam níveis de salinidade entre baixo e médio, foram observados os seguintes percentuais para as fontes incluídas nessa categoria: 74,3 % na microregião homogênea de Catolé do Rocha na Paraíba (Costa & Gheyi, 1984); 64 % no sertão de Pernambuco (Nunes Filho *et al.*, 1991); 71,9 % a 75 % no Seridó e Zona Oeste do Rio Grande do Norte (Pereira *et al.*, 1992; Martins, 1993); 75 % nas pequenas propriedades irrigadas do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (Medeiros, 1992).

Tabela 5.11 Composição química da água de alguns mananciais da região Nordeste.

Manancial	Município	pH	C.E _a (dS m ⁻¹)	Cátions (mmol _{c.} ℓ ⁻¹)				Ânions (mmol _{c.} ℓ ⁻¹)			
				Ca	Mg	K	Na	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
S. Francisco	Petrolina-PE	-	0,067	0,40	0,25	0,00	0,25	0,00	0,63	0,17	0,03
São Gonçalo	Souza-PB	7,1	0,240	1,05	0,80	0,20	0,61	0,00	1,69	-	0,65
Itans	Caicó-RN	8,0	0,660	0,93	2,67	0,17	3,20	0,92	1,31	-	3,70
Arm. Ribeiro	Assu-RN	7,9	0,304	0,88	0,82	0,14	1,22	0,00	1,55	-	1,63
Rio Capiá	Alagoas	7,9	5,97	5,90	13,1	0,65	38,3	0,20	2,80	4,19	51,5

Fontes: Pereira *et al.*, (1991); Leite (1991); Medeiros, (1992); Martins, (1993).

Em linhas gerais, em torno de 70 % das fontes de água avaliadas em Estados do Nordeste foram consideradas de boa qualidade para irrigação. Considerando apenas esse

aspecto poderia se esperar que as áreas irrigadas com águas dessa qualidade não desenvolvessem problemas por acumulação de sais, o que não é verdade. Estima-se entre 25 % e 30 % a porcentagem de áreas afetadas por sais nos perímetros irrigados do Nordeste (Goes, 1978; Cordeiro & Millar, 1978). Este fato deve-se essencialmente ao manejo de irrigação adotado, sob condição de intensa evaporação e drenagem deficiente, em solos de textura franco siltosa a argilosa, predominantes nas áreas de aluviões, onde se concentra a maioria dos perímetros irrigados. Também vale ressaltar que os solos destes perímetros, naturalmente já tinham algum problema de salinidade, porém o manejo inadequado da irrigação provocou a acumulação de sais por falta de drenagem ou promoveu a elevação do lençol freático, com conseqüente aumento das áreas salinizadas.

5.8 CONCLUSÕES

A água é imprescindível aos seres vivos, ocupa 3/4 da superfície terrestre, sendo 96,5 % correspondente a água do mar que é inadequada para consumo direto.

O consumo de água potável no mundo neste final de século aumentou cerca de 10 vezes em relação ao início, sendo a agricultura responsável pela maior demanda. A disponibilidade atual daria para atender ao triplo da população existente entretanto, existe uma grande irregularidade na sua distribuição espacial e temporal. Países com disponibilidade inferior a 1 mil m³.hab⁻¹.ano⁻¹ já sofrem de escassez de oferta com previsão para o ano 2.025 de pelo menos 30 integrarem esse grupo, principalmente os situados no Oriente Médio e na África.

Em regiões áridas e semi-áridas, a irrigação é uma maneira segura de garantir a produção agrícola. As áreas irrigadas representam aproximadamente 16 % das terras cultivadas e respondem por 36 % da produção mundial de alimentos.

Um manejo racional da irrigação envolve tanto aspectos quantitativos para economia de água como qualitativos, para prevenção dos processos de salinização. Na adequabilidade da água para irrigação influi, além da sua composição iônica, fatores climáticos, solo, planta, método e manejo da irrigação.

A concentração de sais nas águas de superfície depende da composição e grau de intemperismo das rochas da bacia hidrográfica e da natureza e tipo de solo pelo qual ela flui. Os aspectos de salinidade, sodicidade e toxicidade são as principais variáveis necessárias para avaliação da qualidade agrônômica das águas para irrigação.

A partir da década de 1950 evoluíram os estudos sobre avaliação da qualidade de água para irrigação. Verificou-se que a classificação de Richards, que se tornou mundialmente utilizada, apresentava alguns inconvenientes, incluindo erros conceituais. A classificação proposta pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia é menos rigorosa. Sugere-se que os riscos de salinidade, sodicidade/infiltração e toxicidade iônica sejam representados pelas letras C, S e T, respectivamente, com subscritos numéricos (1, 2, 3 ou 4) para designar o grau do problema.

Em torno de 70 % das águas dos principais mananciais da região Nordeste são consideradas de boa qualidade para irrigação (baixa a média salinidade). Os problemas de

salinidade existentes nas áreas irrigadas estão relacionados principalmente ao manejo inadequado da irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, J.R.A. de. **Comportamento do alho (*Allium sativum* L.) sob duas formas de aplicação e diferentes níveis de salinidade na água de irrigação**. Campina Grande: DEAg/CCT/UFPB, 1994. 97p. (Dissertação de Mestrado).
- ARAGUEZ LAFARGA, R. **Adequacion del agua para riego**. Tenerife: INIA, 1982. (INIA. Curso Internacional de Riego Localizado, 3).
- AYERS, R.S. Quality of water for irrigation. **J. Irrig. Drain. Div.**, New York, n.103, p.135-54, 1977.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).
- BENINCASA, M.M.P. **Ecofisiologia vegetal**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. 72p.
- BOHN, H.L., McNEAL, B.L., O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. 2.ed. New York: J. Wiley & Sons, 1985. 341p.
- BHUMBLA, D.R. Chemical composition of irrigation water and its effect on crop growth and soil properties. In: WORTHINGTON, E.B. (ed.). **Arid land irrigation in developing countries: environmental problems and effects**. Oxford: Pergamon Press, 1977. P 279-87.
- CHRISTIANSEN, J. E.; OLSEN, E. C.; WILLARDSON, L. S. Irrigation water quality evaluation. **Journal of the irrigation and Drainage**. 103:155-169. 1977.
- CORDEIRO, G.G., MILLAR, A.A. Problemas de sais mas áreas em operação agrícola do projeto de irrigação de São Gonçalo. In: CONGRESSO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Salvador, 1978, **Anais...** Brasília: ABID, 1978. p.20.
- COSTA, R.G., GHEYI, H.R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.19, n.8, p.1021-5, ago. 1984.
- CRISE de água chega com o próximo século. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, p. 7, 23/10/1994.
- CRUZ, W.B. da, MELO, F.A.C.F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: SUDENE, **Boletim de Recursos Naturais**, v.7, n.1/4, p.7-40, jan/dez. 1969.
- DONEEN, L.D. Water quality for irrigated agriculture. In: POLJAKOFF-MAYBER, A., GALE, J. (eds.) **Plants in saline environments**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. cap.4, p.56-76. (Ecological Studies, 15).
- FRENKEL, H. Reassessment of water quality criteria for irrigation. In: SHAINBERG, I., SHALHEVET, J. **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.143-72.
- GHASSEMI, F., JAKEMAN, A.J., NIX, H.A. **Salinization of land and water resources: humans causes, extent, management and case studies**. Camberra: Center

- for Resources and Environment Studies/The Australian Nacional University, 1995, 526p.
- GOES, C.S. **Problemas de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento**. Recife: MINTER/SUDENE, 1978. 20p.
- GUERRA, A. T. **Recursos naturais do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro. IBGE, 1976. 220p.
- HOLANDA, J.S. **Manejo de solo salino-sódico na região do Baixo Açu-RN**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 84p. (Tese de Doutorado).
- HOORN, J.W. van. Quality of irrigation water, limits of use of long-term effects. In: SALINITY SEMINAR, BAGHIDAD. Rome: FAO, 1971. p.117-35. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 7).
- HOORN, J.W. van, ALPHEN, J.G. van. **Salinity control; salinity control, salt balance and leaching requirement of irrigated soils**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen, 1988. (Lectures notes for the Twenty-ninth International Course on Land Drainage, 1990).
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. 498p.
- JENSEN, M.E., RANGELEY, W. R., DIELEMAN, P.J. Irrigation trends in word agriculture. In: **Irrigation of agriculture crops**. Madison: Amer. Soc. Agron., 1990. p.31-67.
- KAMPHORST, A., BOLT, G.H. Saline and sodic soils. In: BOLT, G.H., BRUGGENT, M.G.M. (eds.) **Soil chemistry**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976. v.1, p.171-91. (Developments in Soil Science, 5A).
- KOVDA, V.A., YARON, B., SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V.A., BERG, C. van den, HAGAN, R.M. (eds.). **INTERNATIONAL SOURCE BOOK ON IRRIGATION, DRAINAGE AND SALINITY**. London: HUTCHINSON/ FAO/UNESCO, 1973. Cap.7, p.177-205.
- LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/Grupo de Trabalho de Hidrometeorologia, 1989. 95p. (SUDENE. Hidrologia, 26).
- LEPRUN, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. In: **Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro**. Recife: SUDENE, 1983. P. 91-142.
- LEITE, L.M. **Caracterização da qualidade da água superficial na bacia Capiá-AL, para fins de irrigação**. Campina Grande: DEAg/CCT/UFPB, 1991. 96p. (Dissertação de Mestrado)
- LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas da água**. Trad. LEMOS, A.M. de. Recife: U.S. Agency for international Development, 1965. 75p.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN. Crop salt tolerance - Current assessment.. **Proc. J. Irrig. and Drainage**. 103(IR2):115-134. 1977.
- MAAS, E.V. Crop tolerance to saline sprinkling water. **Plant and Soil**, n.89, p.273-84, 1985.
- MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. **Applied Agric. Research**, v.1, n.1, p.12-26, 1986.

- MARTINS, L.H. **Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na Zona Oeste Potiguar**. Mossoró: ESAM, 1993. 97p (Monografia de Especialização).
- MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos estados do RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB/CCT/DEAg, 1992. 173p. (Dissertação de Mestrado).
- MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Mossoró, ENA/ESAM. 1994. 60p. (ESAM, boletim técnico-científico, 22).
- MOLLE, F., CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DPP/ APR, 1992. 523p.
- NUNES FILHO, J., GUERRA, C.A.M., SOUZA, A.R., SÁ, V.A.L., SOARES, M.J.C.C. **Qualidade da água de açudes, para fins de irrigação no sertão de Pernambuco. ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna.**, Brasília, n.44, p.35-39, 1991.
- O MAPA da água. Canal de informação. **A água em revista**. Belo Horizonte, ano III, n. 5, p. 77-80, ago. 1995.
- PALACIOS, V.O., ACEVES, N.E. **Instructivo para el muestro, registro de datos e interpretacion de la calidad del agua para riego agrícola**. Chapingo: Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1970. 49p. (Rama de Riego y Drenaje, 15).
- PEREIRA, F.A.M., HOLANDA, J.S. de, MEDEIROS, J.d'A.F., BRITO, R.A.L. **Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9. 1991, Natal. **Anais...** Fortaleza, 1992. 2v. em 5. (Tomo 1). p.543-62.
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. 2.ed. Madrid: Editorial Española S.A.,1985. 542p.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba, USP/ESALQ. Depto. Física e Meteorologia. 1993. 505p.
- RHOADES, J.D. **Quality of water for irrigation**. **Soil Sci.**, n.113, p.277-84, 1972.
- RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).
- RHOADES, J.D., MERRIL, S.D. **Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches**. In: **PROGNOSSIS OF SALINITY AND ALKALINITY**. Rome: FAO, 1976. p.69-110. (FAO. Soils Bulletin, 31).
- RICHARDS, L.A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- RODRIGUEZ, F. **Recursos hídricos para a irrigação: aspectos institucionais**. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna.**, Brasília, n.44, p.21-33, 1991.
- SANTOS, J.P., AZEVEDO, S.G. de, MISTRETTA, G.M. **Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo: IPT, 1984, 27p. (Comunicação Técnica, 314).
- SCALOPPI, J.E., BRITO, R.A.L. **Qualidade da água e do solo para irrigação**. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p. - , 1986.

- SHALHEVET, J., KAMBUROV, J. **Irrigation and salinity: a world-wide survey**. New Delhi: International Commission on Irrigation and Drainage, 1976. 106p.
- SHAINBERG, I., OSTER, J.D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagan: International Irrigation Center, 1978. 65p.
- SRINIVASAN, V.S., BARROS, M.G., FIGUEIREDO, E. E. Estudo da viabilidade do uso dos pequenos açudes para irrigação pelo produtor. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., Brasília, 1986. **Anais...** Brasília: ABID, 1986. p.731-48.
- SUAREZ, D.L. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, n.45, p.469-75, 1981.
- SUTCLIFFE, J.F. **As plantas e a água**. São Paulo: E.P.U./EDUSP, 1980. 126p.
- SZABOLCS, I., DARAB, K. Water quality for irrigation and salinization problems. In: SYMPOSIUM OF C.I.E.C. ON WATER AND FERTILIZER USE FOR FOOD PRODUCTION IN ARID AND SEMIARID ZONES, 3, Benghazi, Libya, 1979. **Proceedings...** Benghazi: University of Garyounis, 1979. P.51-69.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia/UFRS, 1985. 97p. (Boletim Técnico, 05/85).
- UM MUNDO de água subterrânea sob o mercosul. Canal de inofirmação. **A água em revista**. Belo Horizonte, ano IV, n. 7, p. 79-82, mai. 1996.
- VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 37p.
- WILCOX, L. V.; DURUM, W. H. Quality of irrigation. In: HAGAN, R. M.; HAISE, R. H.; EDMINISTER, T. W. (eds.). **Irrigation of agricultural lands**. Madison: Amer. Soc. Agron., 1967. Cap. 9, p.104-22. (Agronomy, 11).
- YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. (eds.). **Arid zone irrigations**. Berlin: Springer-Verlag. 1973. Cap. 4, p. 71-85. (Ecological Studies, 5).