

pe-ok

PAT-ok

QUALIDADE DA ÁGUA

Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP

Dr. José Maria Pinto
Pesquisador Irrigação/fertirrigação Embrapa Semi-Árido

1 - IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NA AGRICULTURA

Há pouco tempo atrás um jornal de grande circulação trazia um artigo com a seguinte manchete - "Água será estopim de guerras no próximo século". Esse artigo, muito bem elaborado pelo jornalista Gilberto Dimenstein, abordava os riscos de uma disputa bélica entre diversos países pela água, sob a luz de dados e levantamentos estatísticos que davam total razão ao título. Neste artigo era citado que a falta de água é permanente em 22 países e atinge 40% da população mundial. O artigo enfatiza ainda, que a população mais pobre dos países em desenvolvimento é a que mais sente os impactos negativos desse problema. Nos países em desenvolvimento 80% das doenças são provocadas por água contaminada, isso devido a falta de acesso a água tratada e a rede de esgoto que não chegam a alcançar 20 % da população.

Sabe-se que $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra é coberto por água, no entanto 97% de toda essa água está contida nos mares e oceanos restando apenas 3% de

água doce. Desses 3%, 2,7% estão congelados nas calotas polares, restando apenas 0,7% de toda a água do planeta, que são águas superficiais de fácil captação. A escassa disponibilidade de água no planeta pode ser melhor visualizada no gráfico da Figura 1. Contudo, a água é um recurso finito, renovável mas finito. Rebolças (1999)

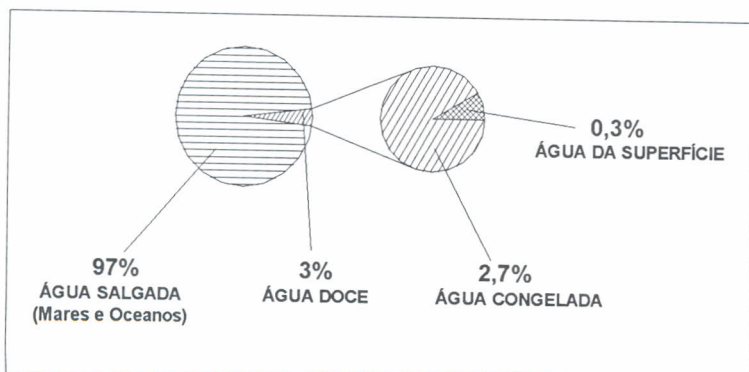


Figura 1 - Disponibilidade de água na terra

Assim não é muito difícil perceber a importância e a necessidade de se preocupar com a qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis no nosso planeta.

Questões relativas à qualidade da água são antigas. Em bibliografia escrita por Aristóteles (384-322 a.C.) intitulada *De Generatione Animalium*, eram citados processos de filtração da água através de vasos porosos com o objetivo de purificá-la. Ancestrais egípcios descreviam processos de filtração em série também para purificação da água para suprimento doméstico Paterniani (1986). Há uma passagem na Bíblia onde Moisés recebe indicação do Senhor para

lançar nas águas do rio Mara um pedaço de madeira para tornar suas águas próprias para matar a sede de seu povo, (as águas de Mara eram amargas e a madeira, agindo como vários polímeros vegetais, tem a capacidade de absorver e retirar da água substâncias que causam gosto) Richter (1991).

A necessidade de se tratar a água, ou seja, de adequar a sua qualidade ao uso a que se destina tem levado pesquisadores e especialistas a desenvolver padrões de qualidade de água para diversos usos além de normas para a captação dos recursos hídricos com o objetivo de preservar a qualidade da água e garantir a existência deste recurso em quantidade e qualidade adequada principalmente para as gerações futuras, evitando, ou pelo menos minimizando, os riscos de uma disputa pela água onde, certamente, os mais pobres perderão.

Em se tratando de qualidade da água é necessário antes de mais nada definir o uso a que se destinará a água bem como conhecer os mananciais de onde se captará a água a ser utilizada.

De acordo com o gráfico da Figura 2, nota-se que o maior consumo de água se dá na agricultura, mais especificamente na irrigação. Com as recentes notícias, na maioria das vezes alarmantes com relação a falta de água e a escassez cada vez mais acentuada de água de boa qualidade, até mesmo na zona rural, fica evidente a necessidade de se voltar maior atenção á água na agricultura não só em relação aos aspectos quantitativos mas também aos qualitativos deste recurso natural.

A disponibilidade de água no planeta é superior a demanda da população.

No entanto, sua distribuição aos diferentes setores consumidores para os diversos usos é extremamente desigual, o que confere a muitas regiões déficit de recursos hídricos, comprometendo o atendimento a população em geral.

Além da má distribuição e perdas, a crescente degradação dos recursos hídricos — devido a concentração de cargas poluidoras em algumas regiões e a falta de escrúpulos quanto ao lançamento dessa carga nos cursos d'água também deve ser considerada como um dos fatores que tornam a água imprópria para diversos usos.

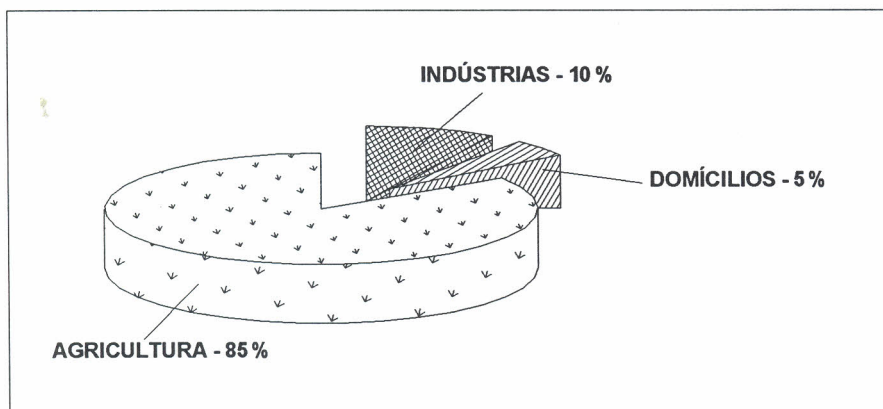


Figura 2 - Consumo de água no mundo

Assim, diversas regiões do mundo enfrentam hoje problemas relativos à escassez de água com qualidade compatível ao uso que se fará dela.

Mota (1997) classifica os principais usos da água como consuntivos (quando há perdas entre o que é retirado e o que retorna ao sistema natural) e não consuntivos (quando ocorre o contrário).

Consuntivos: abastecimento humano, abastecimento industrial, **irrigação**, dessedentação de animais.

Não consuntivos: recreação, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, conservação da flora e da fauna, navegação, pesca, diluição, assimilação e afastamento de despejos.

O consumo de água tende a crescer com o aumento da população, o desenvolvimento industrial e outras atividades humanas. Cada vez mais se retira água dos mananciais e se produzem resíduos líquidos, que voltam para seus recursos hídricos alterando a sua qualidade.

Para cada uso da água, há necessidade de que a mesma tenha uma determinada qualidade. A água para beber, por exemplo, deve obedecer a critérios mais rígidos do que a utilização na recreação ou para fins paisagísticos. A qualidade desejável para a água usada na irrigação varia em função dos tipos de culturas onde será aplicada. Culturas alimentícias, por exemplo, exigem uma qualidade de água superior à de culturas não-alimentícias. O mesmo acontece com a água destinada às indústrias, cujas características dependem dos tipos de processamentos e produtos das fábricas.

Alguns usos provocam alterações nas características da água, tornando-a impróprias para outras finalidades. A recreação pode modificar a qualidade da água, prejudicando o abastecimento humano. A irrigação, com o uso de fertilizantes e pesticidas, pode provocar a poluição de mananciais, causando prejuízos a outros usos. A água utilizada para diluir despejos, mesmo tratados, torna-se imprópria para consumo humano e para outros fins.

Observa-se que há necessidade do manejo adequado dos recursos hídricos, compatibilizando-se os seus diversos usos de forma a garantir a água na qualidade e na quantidade desejáveis aos seus diversos fins. Este é um dos grandes desafios da humanidade: saber aproveitar os seus recursos hídricos de forma a garantir os seus múltiplos usos hoje e sempre.

Em algumas regiões, há água em abundância, suficiente para suprir as necessidades da população e para diluir os resíduos líquidos resultantes dos diversos usos. Em outras, com características áridas ou semi-áridas, há escassez de água, muitas vezes até para fins mais nobres, como o abastecimento humano.

No Brasil, por exemplo, na região árida e semi-árida do Nordeste, em períodos longos de estiagem, a população de algumas áreas é, muitas vezes, obrigada a percorrer grandes distâncias para apanhar água que, freqüentemente, é de péssima qualidade. Nessas regiões devido ao baixo índice pluviométrico e intensa evapotranspiração, o processo de salinização do solo tende a aumentar gradativamente com as irrigações sucessivas, a menos que as condições de drenagem permitam a remoção dos sais. Nestas zonas, a aplicação da água em excesso em áreas com drenagem ineficiente, conduz os sais contidos na água e no perfil do solo até o lençol freático, proporcionando sua elevação. Nestas condições, a água pode retornar a superfície por capilaridade, sofre o processo de evaporação e, em consequência, aumentar a concentração de sais.

Em outras regiões do país, onde há relativa abundância de água, os problemas de poluição são graves, resultantes da urbanização, industrialização, mineração, irrigação e outras atividades, havendo, muitas vezes, dificuldade de

se obter água na qualidade adequada para determinados usos. Com isso, torna-se necessária a implantação de processos de tratamento mais rigorosos, e isso será refletido no custo da água fornecida.

Constata-se assim que no manejo dos recursos hídricos é importante considerar-se os aspectos de qualidade e quantidade de água. Os múltiplos usos desse líquido devem ocorrer de forma equilibrada, considerando as suas disponibilidades e a capacidade dos mananciais de diluir e depurar recursos líquidos.

2 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MANANCIAIS

Como a irrigação é uma forma de uso consuntivo, torna-se de grande importância conhecer as características qualitativas e quantitativas do manancial de onde se vai captar água para a irrigação. Assim apresenta-se a seguir algumas das principais características.

As águas utilizadas para consumo, em geral, são provenientes dos seguintes tipos de mananciais: poços, rios ou lagos Branco (1978).

Poços

Os poços, especialmente os denominados poços artesianos, (isto é, poços geralmente de grande profundidade e cujo nível d'água se eleva acima do nível natural do lençol freático), constituem, freqüentemente, importantes fontes de água, dada a quase completa ausência de microorganismos em suas águas. Essa ausência decorre, principalmente, da pobreza em substâncias orgânicas,—

o que constitui, por si, um obstáculo ao desenvolvimento de organismos heterotróficos,— e a ausência de luz, sem a qual não podem viver algas e outros seres fotossintetizantes. Assim mesmo, estão freqüentemente sujeitos a interferências, por vezes graves, causadas por bactérias quimiossintetizantes que oxidam ferro e manganês.

Rios

Constituem um ambiente ecológico caracterizado, especialmente, pela presença de correnteza. Além disso, não chegam, em condições naturais (a não ser excepcionalmente), a possuir concentrações tão elevadas de substâncias nutritivas quanto os lagos, que têm possibilidade de concentrá-las. Por outro lado, são especialmente suscetíveis às influências do meio e, por essa razão, apresentam características muito variáveis tanto qualitativas como quantitativas. Os rios podem ser classificados, ecologicamente, por diferentes critérios, de acordo com vários fatores, os principais deles de interesse para a irrigação são: a Natureza da fonte e a relação entre velocidade de escoamento, tamanho e declividade.

As fontes que podem dar origem a um rio são: glaciários, fusão da neve, nascentes e drenagem direta das chuvas. Em nosso clima, somente podem ser encontrados os dois últimos tipos e, destes, o rio de nascentes é o que se reveste de maior importância, como fonte perene de água. Muitos dos rios formados por drenagem de chuvas, bastante comuns e volumosos, em certas áreas do Brasil, têm duração efêmera, exigindo, portanto a construção de barragens e açudes para sua regularização quanto a disponibilidade de vazão. Esses rios também apresentam grande variação qualitativa durante certas épocas do ano

especialmente com relação a concentração de material sólido em suspensão decorrentes de drenagem de águas de chuva.

São três fatores intimamente relacionados. O tamanho do rio e sua declividade determinam a velocidade de sua corrente tornando um importante fato qualitativo uma vez que determina seu potencial em diluição de contaminantes e poluente, bem como a suspensão e sedimentação de material sólido. É importante conhecer a velocidade de escoamento dos rios quando da instalação de sistema de captação de água a fim de prevenir-se quanto a entrada de material sólido no sistema de sucção. O Quadro 1 mostra o tipo característico do leito do rio em função de sua velocidade.

Quadro 1 - Característica do leito do rio em função da velocidade

Velocidade (m/s)	Leito
1,2	rocha nua
0,6 a 1,2	cascalho
0,3 a 0,6	pequena quantidade de silte e pedregulho
0,2	arenoso e grande quantidade de silte
0,2 a 0,12	essencialmente siltoso
< 0,12	lodo (rico em mat. orgânica)

Lagos

Os lagos caracterizam-se, em geral, por uma maior estabilidade quanto às suas propriedades físicas. Os efeitos devidos à presença de correnteza são geralmente muito diminuídos, a sedimentação do lodo no fundo é maior, assim como também a superfície de evaporação. Do ponto de vista geológico, isto é, considerando-se lapsos de tempo relativamente grandes, um lago é sempre uma formação transitória, tendendo a desaparecer pela deposição de sedimentos no

fundo e pela invasão de vegetação a partir das margens à medida que sua profundidade diminui. Assim deve-se levar em conta este aspecto quando da escolha de um lago para retirada de água sabendo que a disponibilidade de água, com o tempo, pode ser reduzida.

Os lagos podem ter origem natural, devida a fenômenos vulcânicos, tectônicos, etc., ou ainda ser construídos por mãos humanas através da intercessão de um rio por barragem de terra ou de concreto. Do ponto de vista ecológico ou sanitário não pode ser feita distinção entre lagos artificiais e naturais, a não ser quanto à idade do lago, que poderá ter influência na estabilização de suas características físicas e químicas. Além de suas características qualitativas a temperatura dos lagos influencia na escolha deste manancial em função da sua relação direta com a circulação.

A distribuição do calor em um lago não é uniforme. A existência do fenômeno da *estratificação térmica* faz com que se reconheçam, nos lagos, camadas diferentes quanto às suas características físicas e mesmo químicas durante certos períodos do ano. Assim, por exemplo, podemos reconhecer, em certas épocas, uma camada superficial, com temperatura relativamente uniforme (*epilímnio*), uma camada intermediária (*metalímnio*) na qual se pode notar uma brusca queda de temperatura, e uma camada profunda (*hipolímnio*), em que as variações voltam a ser moderadas. As variações de temperatura na água de um lago está intimamente relacionada ao fenômeno da circulação que pode acarretar problemas desde a velocidade de degradação de poluentes até a suspensão de material sedimentado.

Evidentemente, esses fenômenos de grande circulação e de circulação parcial variam tanto em frequência quanto em intensidade, de um lago para outro ou de uma para outra região do globo terrestre, de acordo com as características morfológicas (profundidade, etc.) do lago ou com as variações de clima do local considerado. Pode-se, pois, distinguir, quanto às características térmicas, os seguintes tipos de lagos:

LAGOS TROPICAIS - A temperatura das águas superficiais se apresenta sempre elevada, e situa-se entre os 20° e 30°C com pequenas variações anuais e pequeno *gradiente térmico* a qualquer profundidade, embora o *gradiente de densidade* possa ser suficiente para condicionar uma *estabilidade de estratificação* perfeita. A circulação total, em geral, somente se verifica nas épocas mais frias do ano e é irregular.

LAGOS SUBTROPICAIS - A temperatura de superfície nunca é menor que 4°C. A variação anual é grande, como também o gradiente térmico. Períodos de circulação idênticos aos dos lagos temperados, porém sem *estratificação inversa*.

LAGOS TEMPERADOS - Com temperatura superficial inferior a 4°C no verão. Gradiente térmico grande, variação anual grande, com dois períodos de circulação total, um na primavera e outro no fim do outono.

3 - AMOSTRAGEM DA ÁGUA PARA ANÁLISE

A amostragem da água a ser submetida às análises de laboratório, constitui um importante aspecto a ser considerado, devendo-se obter uma amostra a mais representativa possível.

Os estudos da qualidade da água, são de interesse de várias áreas do conhecimento. As finalidades de tais estudos são diversificadas como: uso industrial, uso doméstico, irrigação, piscicultura, etc. Para cada situação em particular, pode haver procedimentos e recomendações específicas em relação à amostragem. Em geral, os cuidados com a amostragem estão relacionadas com o local, a frequência da amostragem, quantidade e a obtenção de amostras representativas. Evidentemente, isto vai depender de vários fatores como: objetivo das análises, custos, homogeneidade da fonte de água, precisão desejada, variação temporal das características de qualidade da água, etc.

Na região Nordeste, para fins de irrigação, sugere-se a obtenção pelo menos duas amostras no período que vai de agosto ao início das chuvas. Esta sugestão baseia-se no fato de que as perdas por evapotranspiração aumentam nesse período, aumentando conseqüentemente a concentração salina da água e do solo, resultando em efeitos prejudiciais as plantas cultivadas sob condições de irrigação.

Para fins de irrigação, de conformidade com a fonte de água, são recomendados os seguintes procedimentos:

- a) Poços profundos - A amostragem deve ser feita após algum tempo de funcionamento da bomba, podendo-se coletar a água próximo a superfície líquida ou a qualquer profundidade. Para esta situação, não há nenhum problema, pois, os poços em condições normais de funcionamento apresentam uma situação praticamente de equilíbrio entre as recargas e as descargas.
- b) Pequenos reservatórios - A água é praticamente homogênea, podendo-se

coletar a água na saída do reservatório.

- c) Grandes reservatórios - Nesse caso, pode ocorrer uma variação vertical na qualidade da água. Recomenda-se a amostragem em diversas profundidades e em locais distintos.
- d) Rios e córregos - A amostragem deve ser feita semanalmente ou mensalmente, devendo-se caracterizar o fluxo de água no momento da coleta. Deve-se obter a amostra da água em movimento.

4 - PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

4.1 - Considerações gerais

Numa primeira análise pode parecer que a água utilizada para irrigação pode ter uma qualidade física química e biológica pior do que aquela a ser usada para abastecimento público. Essa concepção permaneceu por um longo tempo em que a preocupação da qualidade da água para irrigação se restringia a parâmetros que pudessem afetar o bom desenvolvimento da cultura irrigada ou o solo, tais como: cloretos, sódio, boro e bicarbonatos em concentrações consideradas tóxicas para cada cultura, ou níveis de salinidade que pudessem alterar negativamente a estrutura do solo.

Na verdade, são vários os fatores que determinam a qualidade da água para irrigação. No entanto, alguns fatores são considerados mais importantes do que outros, em função de seus efeitos no solo e na planta.

Vários autores (Wilcox, 1955; Allison, 1964; Hainberg & Oster, 1978), apontam quatro características básicas determinantes da qualidade da água para irrigação: concentração total de sais solúveis, concentração relativa do sódio em relação a outros cátions, concentração de ions fitotóxicos e concentração de carbonatos e bicarbonatos em relação a concentração de cálcio e magnésio.

Os aspectos sanitários, bem como as propriedades corrosivas e incrustantes da água, são também fatores importantes a se considerar quanto a qualidade da água para fins de irrigação. A presença de agentes patogênicos e parasitários podem prejudicar a saúde do operador dos sistemas de irrigação ou, contaminar os produtos agrícolas, causando risco de doenças aos consumidores. As águas corrosivas apresentam a tendência de corroer quimicamente os canos de distribuição de água, os rotores da bomba, os orifícios dos aspersores. Já as águas incrustantes, apresentam a propriedade de depositar materiais nos canos e equipamentos usados nos sistemas de irrigação, podendo causar entupimento nos mesmos.

Com difusão da irrigação localizada outros parâmetros foram introduzidos na análise da qualidade da água com a preocupação de evitar ou minimizar a obstrução dos gotejadores e emissores empregados neste método de irrigação que na grande maioria das vezes possuem orifícios de pequenas dimensões e a obstrução, mesmo que parcial, de um dos gotejadores de uma linha de irrigação pode comprometer significativamente a uniformidade de distribuição de água às culturas. Nakayama (1982), propôs uma classificação para água para irrigação localizada considerando os riscos de obstrução de gotejadores por substâncias presentes na água de origem física, química e biológica, conforme mostra o Quadro

2 e recomenda o emprego de sistemas de filtração para remoção dessas substâncias.

Quadro 2 -Risco potencial de obturações segundo qualidade da água de irrigação

Tipo de problema	Risco		
	Baixo	Médio	Alto
Físico			
Sólidos em suspensão (ppm)	< 50	50 a 100	>100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 a 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
SH ₂ (ppm)	< 0,5	0,5 a 2,0	> 2,0
Biológico			
Bactérias (n° máx./mL)	< 10.000	10.000 a 50.000	> 50.000

Atualmente, com a tendência cada vez maior do uso de águas residuárias para irrigação e a deterioração crescente da qualidade da águas dos mananciais, mesmo na zona rural, parâmetros bacteriológicos mais rigorosos devem ser introduzidos no controle da qualidade da água de irrigação com o objetivo de assegurar um produto cultivado de boa qualidade sanitária protegendo a saúde da população que o consumir. Assim, a Resolução CONAMA nº 20 de 1986, recomenda que água destinada a irrigação de hortaliças e frutas rente ao solo e consumidas *in natura*, seja pertencente a Classe 1 a qual “não deve ser poluída por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas”, o que subentende-se ausência de coliformes totais e fecais e consequentemente a necessidade de tratamento da água através de técnicas de desinfecção.

A seguir são apresentadas as principais características de alguns dos parâmetros de controle de qualidade da água de maior interesse para a irrigação, face às considerações expostas anteriormente.

3.2 - Parâmetros Físicos:

Temperatura

É a medida da quantidade de calor de um sistema. Através da absorção e espalhamento da luz solar na água, a energia dessa radiação diminui, transformando-se em calor. Este processo é influenciado pela estrutura molecular da água, pela presença de partículas em suspensão e, especialmente, por compostos orgânicos dissolvidos. Essas propriedades óticas são dinâmicas, mudando sazonalmente e de forma distinta para os ecossistemas de águas interiores.

A temperatura atua em muitos equilíbrios físicos e químicos, sendo um importante fator ecológico, tanto pela influência direta que pode exercer sob os vários tipos de organismos como pela relação existente entre a mesma e o teor de gases dissolvidos. Assim, as variações de temperatura influenciam as concentrações de O_2 e CO_2 da água, o teor de carbonato e os valores de pH.

Em águas de reservatórios, as mudanças bruscas de temperatura podem causar efeitos deletérios à biota e alterar as características químicas da água.

Segundo o Krug (1980), as modificações de temperatura podem prejudicar as operações de tratamento de águas brutas, seja pelo aumento da velocidade de reações químicas, pela alteração do regime hidráulico dos decantadores, pelos processos de filtração, entre outros.

Para a vida aquática, sabe-se que uma elevação de temperatura leva a

uma diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido, a uma maior toxicidade de certas substâncias e a um aumento no metabolismo dos organismos.

Turbidez

A turbidez em águas é causada pela presença de matéria orgânica e inorgânica em suspensão, como argila, silte, carbonatos, plânctons e outros animais que dificultam a penetração da luz.

É um dos parâmetros de controle de qualidade de água mais usados em sistemas de tratamento de água devido a sua rápida e fácil determinação com resultados bastante confiáveis e precisos.

Para que a água seja utilizada tanto na indústria como para o consumo doméstico, há necessidade de se eliminar esta característica nas estações de tratamento. Muitos organismos aquáticos, especialmente os filtradores, não podem tolerar apreciáveis concentrações de material particulado inorgânico. Além disso, essa característica é prejudicial para a vida aquática por promover uma diminuição na fotossíntese, como conseqüente abaixamento da temperatura no fundo de águas túrbidas.

Na irrigação localizada pode ser um parâmetros comprometedor, uma vez que indica a concentração de partículas sólidas em suspensão que podem obstruir os gotejadores, além de diminuir a eficiência de processos de desinfecção. A turbidez da água é normalmente reduzida através da filtração.

Cor

A cor da água pode ser classificada como verdadeira, (quando é devida à matéria dissolvida), e aparente, (quando da presença de materiais em suspensão). Na maioria dos casos, observa-se nas águas naturais a cor aparente. Um bom exemplo é a cor marrom das águas que drenam material humificado, havendo inclusive uma correlação positiva entre este tipo de coloração e a concentração de carbono orgânico dissolvido. Colorações azul-esverdeadas, marrons e vermelhas podem ser observadas conforme a densidade populacional de algas e bactérias, podendo ser um indício do fenômeno de eutroficação.

A cor aparente pode ser reduzida através de processos físicos como filtração porém a cor verdadeira é mais difícil de ser removida e requer tratamento mais complexo com coagulação química e osmose reversa.

Sólidos totais

Este parâmetro refere-se a quantidade de material que está em suspensão na água. Os sólidos totais podem ser subdivididos em sólidos dissolvidos (não filtráveis) e sólidos em suspensão (filtráveis).

Altas concentrações desses compostos podem tornar uma água imprópria para uso doméstico e industrial, devido a seus efeitos estéticos, fisiológicos e econômicos. Sais minerais como sulfatos e cloretos estão associados a processos de corrosão, que podem danificar os sistemas de distribuição de água. Com relação à produção de sabor, estudos indicam que limites um pouco acima de 500 mg/l são tolerados nas águas de abastecimento.

Com relação à vida aquática, o efeito dos sólidos dissolvidos totais é semelhante ao efeito causado pela turbidez, e os sólidos orgânicos podem causar uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido.

Embora este parâmetro, assim como a turbidez, não indiquem nada de qualitativo da composição do material analisado, eles são largamente empregados em laboratórios de análises de água.

Este parâmetro torna-se muito importante quando se emprega se emprega métodos de irrigação localizada, seja por gotejadores ou microaspersores. Esses emissores são extremamente sensíveis à presença de partículas sólidas presentes na água e obstruem-se facilmente comprometendo a uniformidade de distribuição de água às plantas.

3.3 - Parâmetros químicos

pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida importante na análise de água para irrigação por está intimamente relacionado com a concentração de outras substâncias presentes na água. Assim, por exemplo, uma água que apresenta pH acima de 8,3 contém altas concentrações de sódio, carbonatos e bicarbonatos, podendo tornar-se inadequada para irrigação. A concentração elevada desses íons na água, com a sua aplicação no solo, haverá influência no processo de intercâmbio de cátions da superfície da fase sólida do solo em direção a solução do solo e vice-versa.

Assim, por exemplo, a alta concentração de íons bicarbonato na água de irrigação, favorece a precipitação de cálcio e magnésio, aumentando a

concentração de sódio na solução do solo. Um pH de 7,5 a 8,0 mostra geralmente a presença de carbonatos de cálcio e magnésio.

Segundo Fireman e Waldleigh citada por Richards (1954), há uma correlação significativa entre o pH e a porcentagem de sódio intercambiável no solo. Pelos estudos desenvolvidos, evidenciaram que valores de pH igual ou superior a 8,5 indicam quase sempre uma porcentagem de sódio intercambiável (PSI) igual ou superior a 15 e a presença de carbonatos de metais alcalino-terrosos. Valores de pH entre 7,5 e 8,5 a PSI pode ou não ser superior a 15; pH menor que 7,5 indicam, em geral, a ausência de carbonatos e pH abaixo de 7 significa a presença de quantidades consideráveis de hidrogênio.

As águas de irrigação com pH inferior a 7 tornam-se corrosivas, enquanto valores de pH acima de 7 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos de irrigação. Assim, nesses casos, a fim de verificar melhor os efeitos corrosivos e incrustantes da água, outros fatores além do pH devem ser considerados (oxigênio dissolvido, gás sulfídrico, sólido totais dissolvidos, cloretos, ferro, dureza total, etc.).

Os valores de pH da água de irrigação estão normalmente entre 6,5 e 8,4 (Ayers 1977). Valores fora destes limites indicam que pode haver problemas na qualidade da água, recomendado-se uma análise mais detalhada dos parâmetros que definem sua qualidade.

Além da concentração hidrogeniônica na água, em si mesma, poder causar efeitos adversos para os mais variados fins, o valor do pH pode ser

considerado com uma medida do potencial de poluição da água. Variações acentuadas de pH, por exemplo, provocam grande mortalidade dos peixes. Em geral, os peixes adaptam-se a um pH em torno de 7 com variações de mais ou menos 2. Essa amplitude de variação, no entanto, dentro da qual os peixes podem sobreviver, vai depender de outros fatores como temperatura, oxigênio dissolvido, concentração de determinados cátions e ânions.

A concentração hidrogeniônica exerce influência no grau de dissociação de várias outras substâncias presentes na água.

Segundo Mckee & Wolf (1971), a forma não dissociada dos composto é, freqüentemente, mais tóxica do que na forma iônica, podendo o pH, nestas condições, torna-se altamente significativo na determinação dos limites perigosos de concentração.

Condutividade elétrica e sais solúveis

A medida da salinidade em termos de condutividade elétrica, se baseia na seguinte propriedade:

“Quando maior a concentração de sais em uma solução melhor será a condução da corrente elétrica”.

Considerando um condutor elétrico de comprimento “L” e seção transversal “S”, sua resistência elétrica será dada por:

$$R = P.(L/S)$$

O fator “P” é denominado de resistividade elétrica. O valor de “P” depende

da natureza do condutor e não de sua forma e dimensões.

Quanto maior o valor de "P" de um certo material pior será suas propriedades condutores de eletricidade.

A unidade de resistividade elétrica do condutor é dada em Ohm vezes unidades de comprimento.

A inversa de "P" chama-se condutividade elétrica (CE). Assim, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$CE = 1/P = (1/R) \times (1/S)$$

Quanto maior o valor da CE de um material, melhor ele conduz a corrente elétrica. No caso de soluções salinas, valores elevados de CE indicam concentrações salinas também elevadas.

A unidade de CE é a inversa da resistividade elétrica, sendo expressa em mho/cm.

Como esta unidade é muito grande, na prática se utilizam submúltiplos como:

$$\text{Milimhos/cm} = 10^{-3} \text{ mho/cm}$$

$$\text{Micromhos/cm} = 10^{-6} \text{ mho/cm}$$

A unidade de condutividade elétrica adotada pelo sistema internacional de unidade é o siemens/metro (S/m), definida como sendo a condutividade de um material homogêneo e isotrópico cuja resistividade é de 1 ohm.m. .Como o S/m é uma unidade elevada, utiliza-se como submúltiplo o decisiemens/m (dS/m), cuja grandeza equivale a 1 milimho/cm. Uma condutividade de 1 dS/m equivale a um valor médio de sólidos dissolvidos totais de 640 ppm (mg/L).

Como a CE é uma medida da carga iônica da amostra, há uma relação entre este parâmetro e sólidos totais dissolvidos (STD). Esta relação é expressa pela seguinte equação:

$$\text{STD} = \text{K} \cdot \text{CE}$$

Onde:

STD = Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)

K = Valor que tem varado entre 0,5 e 1, média de 0,64.

CE = Condutividade elétrica da em micromhos/cm à 25°C

Os valores apresentados no Quadro 3 dão uma idéia da magnitude da condutividade elétrica da água em micromhos/cm Pa 25°C.

Quadro 3 - Classificação da água em função da ce

Água	CE a 25 °C (Micromhos/cm)
Pura	Aproximadamente 0 (zero)
Chuva	Média de 10 a 15
Sanidade média	750 a 2250

A medida da CE é feita através de uma ponte de condutividade elétrica provida de uma "célula" de imersão, contendo dois eletrodos de condutividade, revestidos de platina ou aço inoxidável de 1 cm. A superfície dos eletrodos é de aproximadamente 1 cm².

Os aparelhos de medida - Condutivímetros - apresentam uma correção de célula para o caso de células cujos eletrodos não apresentam superfície exata de 1 cm².

A classificação da água de irrigação quanto a salinidade é feita levando-se em consideração o conjunto de fatores determinantes da sua qualidade, relacionados com seus efeitos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação (Chrisriansen, 1977).

Em geral as água de irrigação são classificada em função de quatro fatores básicos, quais sejam: concentração total de sais solúveis; concentração relativa de sódio em relação a outros cátions; concentração de íons fitóxicos e concentração de carbonatos e bicarbonatos.

Tem sido proposto por vários autores diferentes esquemas de interpretação e classificação sobre a qualidade da água para irrigação. Dentre eles, destacam-se os esquemas propostos por Scofield (1936); Wilcox (1948); Richards (1954); Thorne & Peterson (1954) Ayres & Branson (1977).

A classificação por Scofield (1936), estabelece os limites permissíveis para diferente classes de água para irrigação, considerando os seguintes fatores: salinidade total, porcentagem de sódio, cloretos e sulfatos (Quadro 4).

Quadro 4 -Limites permissíveis para classes de água para irrigação (scofield, 1936)

Sólidos totais solúveis		Sódio	Cloretos	Sulfatos	Classe de água
CE (micromhos/cm)	ppm	(%)	(meq/L)	(meq/L)	
< 250	< 175	< 20	< 4	< 4	Excelente
250 – 750	175 – 525	20 – 40	4 – 7	4 – 7	Boa
750 – 2000	525 - 1400	40 – 60	7 – 12	7 – 12	Permissível
2000 – 3000	1400 - 2100	60 – 80	12 – 20	12 – 20	Duvidosa
>3000	> 2100	> 80	> 20	> 20	Imprópria

a) Quando ao perigo de salinização de solo

As águas são divididas em quatro classes, em função da concentração total de sais solúveis, expressa pela condutividade elétrica (CE):

Classe C1 - Água com salinidade baixa (CE entre 0 e 250micromhos/cm a 25°C) Pode ser usada na irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com pouca possibilidade de ocasionar salinidade ou decréscimo na produção. Alguma lixiviação pode ser necessária, porém isso ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremamente baixas.

Classe C2 - Água com média salinidade (CE entre 250 e 750micromhos/cm a 25°C). Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle de salinidade.

Classe C3 - Água com salinidade alta(CE entre 750 e 2250micromhos/cm a 25°C. Não é recomendável seu uso em solos com drenagem deficiente. Seu uso mesmo em solos com drenagem adequada requer práticas especiais de controle de salinidade. Recomenda-se uso somente na irrigação de plantas com boa tolerância aos sais.

Classe C4 - Água com salinidade muita alta (CE entre 2250 e 5000micromhos/cm). Não é apropriada para irrigação em condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais em solos muito permeáveis e de boa drenagem e em plantas altamente tolerantes aos sais. Ao se usada em tais condições, é recomendável a aplicação da água em excesso nas irrigações, para promover a lixiviação dos sais.

b) Quanto ao perigo de sodificação ou alcalinização

As águas são divididas em quatro classes, em função da acumulação de sódio expressa através da Relação de Adsorção de Sódio(RAS) e, conseqüentemente, seus efeitos nas propriedades físicas do solo:

Classe S1 - Água com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação em quase todos os tipos de solos, com pouca possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Classe S2 - Água com concentração média de sódio. Só pode ser usada em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade. Sob condições restritas de lixiviação, apresenta um perigo considerável de sodificação(solos de textura fina com baixa capacidade de troca catiônica).

Classe S3 - Água com alta concentração de sódio. Pode produzir níveis críticos de sódio trocável na maioria dos solos. Seu uso requer práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica. Em solos com muito gesso, pode não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável. Pode requerer o uso de corretivos químicos para substituição do sódio trocável, exceto no caso de apresentar salinidade muito elevada.

Classe S4 - Água com concentração muita alta de sódio. Geralmente é imprópria para irrigação, ser usada ocasionalmente em solos bem drenadas ou com o uso de gesso. Pode ser usada em alguns casos onde a concentração de cálcio no solo ou o uso de determinados corretivos químicos torne seu uso viável.

A seguir apresenta-se um exemplo de cálculo da salinidade a fim de mostrar a importância deste parâmetro de qualidade de água de irrigação, principalmente nas regiões do Nordeste brasileiro.

Exemplo:

Para a cultura do melão, com um ciclo de 80 dias, evapotranspiração média no período de 8 mm/dia e eficiência de irrigação de 90 %. Qualidade da água 0,07mmhos/cm (C_1S_1 - água do Rio São Francisco). Calcular a quantidade de sais depositada no solo nesse período.

Solução:

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE ÁGUA

$$8 \text{ mm} \times 80 \text{ DIAS} = 6400 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Como a eficiência da irrigação é 90% temos que aplicar:

$$6400/0,9 = 6740 \text{ m}^3/\text{ha}$$

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SAL

$$0,07 \text{ mmhos/cm}$$

$$\text{mg/L} = \text{CE (mmhos/cm)} \times 640$$

$$\text{mg/L} = 0,07 \times 640 = 44,8 \text{ mg/L}$$

DIVIDINDO POR 1000 TEMOS:

$$44,8/1000 = 0,0448 \text{ g/L}$$

TEMOS QUE APLICAR 6740m³/ha

MULTIPLICANDO POR 1000 TEMOS:

$$6740 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1000 = 6740000 \text{ L/ha}$$

$$1 \text{ L} \quad \quad \quad 0,0448 \text{ g DE SAL}$$

$$67400000 \quad \quad \quad X \text{ g DE SAL}$$

$$X = 301952 \text{ g DE SAL}$$

DIVIDINDO POR 1000

$$X = 301952/1000 = 301,9 \text{ kg DE SAL}$$

SE A QUALIDADE DA ÁGUA FOR: 0,86mmhos/cm (C_3S_1)

$$8 \text{ mm x } 80 \text{ DIAS} = 6400\text{m}^3/\text{ha}$$

Como a eficiência da irrigação é 90% temos que aplicar:

$$6400/0,9 = 6740\text{m}^3/\text{ha}$$

CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SAL

$$0,86 \text{ mmhos/cm}$$

$$\text{mg/L} = \text{CE (mmhos/cm)} \times 640$$

$$\text{mg/L} = 0,86 \times 640 = 550,4 \text{ mg/L}$$

DIVIDINDO POR 1000 TEMOS:

$$550,4 / 1000 = 0,55 \text{ g/L}$$

TEMOS QUE APLICAR $6740\text{m}^3/\text{ha}$

MULTIPLICANDO POR 1000 TEMOS:

$$6740\text{m}^3/\text{ha} \times 1000 = 6740000 \text{ L/ha}$$

$$1 \text{ L} \qquad \qquad \qquad 0,55 \text{ g DE SAL}$$

$$67400000 \qquad \qquad \qquad X \text{ g DE SAL}$$

$$X = 3709696 \text{ g DE SAL}$$

DIVIDINDO POR 1000

$$X = 3709696/1000 = 3709,69 \text{ kg DE SAL/ha}$$

Um outro fator a se considerar é a variação da condutividade com a temperatura. Para padronizar as medidas, tem-se convencionado expressar a condutividade à 25°C. Assim, a medida da CE a uma dada temperatura (T°C) deve ser multiplicada por um fator, a fim de ser transformada na correspondente a 25°C. Atualmente existem muitos condutímetro dotados de mecanismos de compensação de temperatura.

A maioria das águas para irrigação apresentam CE inferior a 2.250 micromhos/cm à 25°C. Ocasionalmente se usam águas de maior condutividade, porém as colheitas obtidas não tem sido satisfatórias (Richards, 1954).

A condutividade elétrica de uma solução tem uma relação direta com a solubilidade dos sais presentes. Todos os sais solúveis podem constituir soluções de altíssima CE - soluções salinas muito concentradas resultando maior efeito prejudicial aos cultivos. Por outro lado, os sais pouco solúveis resultam valores baixos da CE. Estes sais precipitam antes de alcançar teores prejudiciais.

Os valores de CE são obtidos dividindo-se a solubilidade em meq/L por 12. Observa-se que o carbonato de sódio por ser o mais solúvel, apresenta o máximo valor da CE (693 micromhos/cm).

No caso do gesso (sulfato de cálcio) a CE máxima é de 2,5 milimhos/cm. Como a uma concentração de 2,04 g/L o gesso precipita-se, nunca a condutividade elétrica da solução superará 2,5 milimhos/cm.

Os principais cátions e ânions presentes na água de irrigação são: cálcio, magnésio, sódio, pequenas quantidades de potássio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos e pequenas quantidade de nitratos e fluoretos.

Quantidades consideráveis de sódio no solo pode produzir efeitos adversos sobre o crescimento das plantas devido as modificações estruturais do solo, dado o efeito dispersantes deste elemento. A estrutura do solo - ordenações espacial das partículas do solo - pode ser alterada em diferentes

graus de intensidade, dificultando a infiltração da água no solo e impedindo o processo de intercâmbio dos gases entre a atmosfera e o perfil do solo (aeração deficiente) e diminuindo a disponibilidade de água (Allison, 1964; Guruovich, 1985).

O teor de sódio presente na água de irrigação em relação a outros cátions bivalentes, é utilizada como indicador de seu perigo na sodificação do solo. Tal perigo pode ser caracterizado pelas concentrações absolutas e relativas do teor de sódio em relação aos outros cátions presentes na água. Se o sódio é o cátion predominante o perigo de sodificação é alto, ao contrário, do que acontece se predominam os cátions cálcio e magnésio.

A concentração relativa de sódio em relação a outros cátions pode ser expressa das seguintes formas: a) porcentagem de sódio em relação a outros cátions; b) relação de adsorção de sódio (RAS) e c) relação de adsorção de sódio ajustada (RASaj).

a) Porcentagem de sódio em relação a outros cátions

A porcentagem de sódio durante muito tempo foi utilizada para definir o perigo de sodificação da água no solo. Sua obtenção é feita através da seguinte expressão:

$$(\%) \text{ Na}^+ = (\text{Na}^+) / (\text{Ca}^{++} + \text{MG}^{++} + \text{Na}^+)$$

Para considerar o efeito da precipitação dos cátions cálcio e magnésio

em forma de carbonatos Teisseter (1988), propõe calcular a porcentagem de sódio possível subtraindo do denominador da equação citada anteriormente a concentração de carbonatos mais bicarbonatos. Isto só é possível quando o somatório de carbonatos e bicarbonatos não superar a concentração de cálcio mais magnésio.

b) Relação de adsorção de sódio (RAS)

Os constituintes catiônicos de uma água de irrigação tem uma importante relação com as propriedades físicas e químicas do solo. Há um processo de intercâmbio catiônico entre as argilas do solo e os íons dissolvidos presentes na água infiltrada no seu perfil. Assim, para considerar o grau provável em que o solo adsorverá o sódio da água, assim como a velocidade em que tal adsorção ocorre ao se aplicar a água, determina-se um índice conhecido como Relação da Adsorção de Sódio (RAS), expresso através da equação:

$$\text{RAS} = (\text{Na}^+)/[(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{0,5}$$

Em termos práticos, o valor da RAS da água aumenta no solo em consequência do aumento da concentração total de sais e da possível precipitação dos teores de cálcio e magnésio a medida que diminui o conteúdo de umidade a ser extraído pelas plantas e perdido por evaporação superficial. Por conta disso, a porcentagem de sódio intercambiável (PSI) pode resultar em valores mais altos do que aqueles estimados através da RAS da água (Guruovich, 1985). A relação entre PSI e a RAS pode ser calculada pela seguinte equação empírica:

$$\text{PSI} = [100(-0,0126 + 0,01475\text{RAS})]/[1 + (-0,0126 + 0,01475\text{RAS})]$$

Como o perigo de sodificação depende ao mesmo tempo da concentração relativa de sódio em relação aos outros cátions e da concentração total de sais presentes na água, não é conveniente o estabelecimento de valores críticos da RAS de forma independente. Assim, posteriormente, ao se estudar a classificação da água para irrigação estes fatores são tratados em conjunto.

c) Relação de adsorção de sódio ajustadas (RASaj.)

Para considerar os efeitos dos íons carbonatos e bicarbonatos contidos na água, a equação da RAS foi modificada através da introdução do parâmetro pHc (Ayers & Westcot, 1976). O cálculo da nova relação denominada Relação da Adsorção de Sódio Ajustada (RASaj.) determinada por:

$$\text{RASaj.} = \{\text{Na}^+[1 + (8,4 - \text{pHc})]\}/[(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{0,5}$$

Onde o parâmetro pHc é calculado:

$$\text{PHc} = (\text{pK} - \text{pKc}) + \text{p}(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) + \text{pAlc}$$

Os valores dos termos da equação anterior são obtidos em função dos teores de cálcio, magnésio, sódio, carbonatos e bicarbonatos, no Quadro 5, da seguinte forma:

(pK - pKc) obtém-se com a soma de (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + Na⁺)

p(Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) obtém-se com a soma de (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺)

pAlc obtém-se com a soma ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)

O pHc é o valor calculado do pH que avalia a tendência da água de irrigação dissolver ou precipitar o cálcio do solo. Valores acima de 8,4 indicam a tendência de dissolver óxido de cálcio, enquanto valores inferiores a 8,4 indica a tendência da água precipitar o óxido de cálcio, favorecendo o acúmulo de sódio no solo. Com isso, a permeabilidade do solo será afetado e, em consequência, a dinâmica da água no solo.

Quadro 5 - Cálculo dos valores de phc da água de irrigação

(Ca + Mg + Na) Meq/L	(pK - pKc)	(Ca + Mg) Meq/L	P(Ca + Mg)	(CO ₃ + HCO ₃) Meq/L	pAlc
0,5	2,11	0,05	4,60	0,05	4,30
0,7	2,12	0,10	4,30	0,10	4,00
0,9	2,13	0,15	4,12	0,15	3,82
1,2	2,14	0,20	4,00	0,20	3,70
1,6	2,15	0,25	3,90	0,25	3,60
1,9	2,16	0,32	3,80	0,31	3,51
2,4	2,17	0,39	3,70	0,40	3,40
2,8	2,18	0,50	3,60	0,50	3,30
3,3	2,19	0,63	3,50	0,63	3,20
3,9	2,20	0,79	3,40	0,79	3,10
4,5	2,21	1,00	3,30	0,99	3,00
5,1	2,22	1,25	3,20	1,25	2,90
5,8	2,23	1,58	3,10	1,57	2,80
6,6	2,24	1,98	3,00	1,98	2,70
7,4	2,25	2,49	2,90	2,49	2,60
8,3	2,26	3,14	2,80	3,13	2,50
9,2	2,27	3,90	2,70	4,00	2,40
11	2,28	4,97	2,60	5,00	2,30
13	2,30	6,30	2,50	6,30	2,20
15	2,32	7,90	2,40	7,90	2,10
18	2,34	10,00	2,30	9,90	2,00
22	2,36	12,50	2,20	12,50	1,90
25	2,38	15,80	2,10	15,70	1,80
29	2,40	19,80	2,00	19,80	1,70
34	2,42				
39	2,44				
45	2,46				
51	2,48				
59	2,50				
67	2,52				
76	2,54				

Exemplo:

Calcular a Relação de adsorção de sódio Ajustada (RASaj.) de uma água que apresentou:

Sódio = 4,0 meq/L

Cálcio + Magnésio = 1,2 meq/L

Carbonatos + Bicarbonatos = 2,5 meq/L

Solução

I) Cálculo do parâmetro pHc

Para $(Ca + Mg + Na) = 5,2 \text{ meq/L}$ ————— $(pK - pKc) = 2,22$

Para $(Ca + Mg) = 1,2 \text{ meq/L}$ ————— $p(Ca + Mg) = 3,22$

Para $(CO_3 + HCO_3) = 2,5 \text{ meq/L}$ ————— $pA1c = 2,60$

Assim, o valor de pHc será:

$$PHc = 2,22 + 3,22 + 2,60 = 8,04$$

II) Cálculo da RASaj.

$$RASaj. = (1,2/2)^{1/2} (1 + (8,4 - 8,04)) = 7,023$$

Um valor desta magnitude indica que a água pode causar crescente problema de permeabilidade.

Dureza

A dureza da água refere-se geralmente à concentração de cátions metálicos divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . Esses cátions podem reagir com ânions presentes na água e formar precipitados. A dureza da água pode ainda ser classificada de Dureza carbonato e Dureza não carbonato dependendo do ânion a que está associada. Classifica-se a água quanto a dureza de acordo com o Quadro 6 em função da concentração de Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) VON SPERLING (1996).

Quadro 6 -Classificação da dureza da água

Classificação	mg/L de Ca CO ₃
Água mole	< 50
Dureza moderada	entre 50 e 150
Água dura	entre 150 e 300
Água muito dura	> 300

A dureza na água não traz conseqüências sanitárias além de sabor desagradável e dificuldade de formação de espuma quando é usado sabão. Para a irrigação, no entanto, pode provocar incrustações nas tubulações principalmente em regiões onde a temperatura é elevada, provocando aumento na perda de carga do sistema hidráulico. A redução da Dureza da água é obtida através de tratamento químico muitas vezes de custo elevado.

Ferro e Manganês

O Ferro e o Manganês normalmente estão presentes na água nas formas insolúveis (Fe³⁺ e Mn⁴⁺). Suas origens podem ser da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais. A presença de Fe e Mn na água não tem muita importância do ponto de vista sanitário a não ser gosto e cor amarelada que inferem à água. No entanto, podem precipitar na presença de oxigênio dissolvido convertendo-se em fortes contribuintes para a obstrução de gotejadores. Von Sperling (1996).

A forma mais recomendada de se remover ou reduzir a concentração de ferro e manganês da água é através da aeração, ou seja, pela introdução de oxigênio dissolvido na água a fim de promover a oxidação desse metais. É importante lembrar

que ao processo de aeração deve-se associar um sistema de remoção física, como a filtração, para remoção do ferro e manganês precipitados.

Nitrogênio

O Nitrogênio pode ser encontrado na água em todas as suas formas presentes no Ciclo do Nitrogênio na biosfera, ou seja: nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A origem de excessos de nitrogênio na água está normalmente associada a despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e uso de fertilizantes. Devido a esse último fator sua importância na agricultura irrigada tem tido atenção intensificada, principalmente devido a difusão das técnicas de fertirrigação. A presença de nitrogênio, na forma de nitrato, em excesso na água pode trazer problemas graves de saúde à população como a metahemoglobinemia, doença que pode causar morte em crianças.

O excesso de nitrogênio em reservatório de água para irrigação pode tornar esse ambiente aquático eutrofizado, conduzindo a um crescimento elevado de algas que virão a obstruir gotejadores e filtros do sistema de irrigação. Uso de algicidas, cloro e mesmo filtros específicos tem sido recomendados para reduzir o desenvolvimento de algas no interior de tubulações de irrigação localizada. Von Sperling (1996).

Fósforo

O fósforo se encontra na água geralmente nas formas de ortofosfatos sendo a mais comum delas o HPO_4^{2-} . Sua origem na água pode ser natural,

proveniente do solo e da decomposição de matéria orgânica, como também proveniente de despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. Tem para a irrigação a mesma importância que o nitrogênio, pois é responsável também por fenômenos de eutrofização em reservatórios quando em elevadas concentrações. Pode-se utilizar o fósforo total (P total) como indicador do estado de eutrofização de corpos d'água, conforme o Quadro 7. VON SPERLING (1996).

Quadro 7 - Níveis de eutrofização em função do fósforo total

Grau de eutrofização	Concentração de P total (mg/L)
Não eutrófico	< 0,01 e 0,02
Estágio intermediário	entre 0,02 a 0,05
Eutrófico	> 0,05

Oxigênio dissolvido

Por ser um elemento essencial a vida aquática e também a microrganismos aeróbios que utilizam-no na degradação de matéria orgânica, sua concentração na água tem estreita relação com a contaminação por matéria orgânica, especialmente esgoto doméstico na água.

A concentração de OD na água é proporcional a temperatura e a altitude. Ao nível do mar e a 20°C a concentração de saturação do oxigênio na água é igual a 9,2 mg/L. Assim, encontrando-se valores muito inferiores a esse existe um forte indicativo de contaminação por esgotos domésticos na água. O oxigênio dissolvido em concentração igual a 2 mg/L causa a morte de grande quantidade de peixes. Deve-se lembrar também que o Oxigênio dissolvido é empregado na oxidação do ferro para sua remoção da água.

Íons fitotóxicos

A presença de alguns elementos na água de irrigação e na solução do solo, mesmo em pequenas proporções, podem causar problemas de toxidez às culturas. Tais problemas, no entanto, são muito específicos para uma dada cultura e para determinado constituinte.

Segundo Wilcox e Wallihan et al (citados por Costa, 1982) os problemas de toxidez surgem quando certos componentes existentes na águas naturais são absorvidos pelos cultivos em quantidade capaz de produzir uma redução em seus rendimentos. Dentre os componentes que podem produzir efeitos tóxicos aos cultivos, destacam-se o boro e o cloro.

O boro apesar de ser um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas quando presente em pequenas proporções (0,03 a 0,04 ppm para maioria dos cultivos sensíveis), torna-se muito tóxico para algumas espécies de cultivos quando sua concentração supera certos limites permissíveis. O nível que o torna tóxico varia conforme a espécie vegetal. Assim, o nível ótimo para algumas espécie pode ser tóxica para outras. Tem-se constatado, por exemplo, danos economicamente significativos à cultura do limão quando irrigada com água com mais de 1 ppm de boro; ao contrário, a alfafa tem revelado máximo desenvolvimento quando irrigada com água que possui entre 1 e 2 ppm de boro (GURUOVICH, 1985).

Um dos sintomas de toxidez devido ao boro ser observado através de queimaduras características em algumas espécies vegetais, muito embora espécies sensíveis não apresentam sintomas aparentes. Os cítricos, por exemplo,

mostram queimaduras marginais nas folhas maduras. Muitas árvores são sensíveis ao boro, porém não acumulam altas concentrações em suas folhas, nem desenvolvem sintomas típicos nas mesmas. Já o algodoeiro e outras plantas podem apresentar sintomas de chamuscamentos (queimaduras leves) e enrolamento das folhas.

O cloro quando presente em concentrações elevadas na água de irrigação pode provocar efeitos tóxicos às culturas, seja quando absorvido pelas raízes ou pelas folhas (absorção foliar). Uma água de irrigação que apresenta um conteúdo de cloro acima de 3 meq/L (106ppm) começa a acumular problemas de absorção foliar. Valores inferiores a este limite, em geral, denotam ausência de problemas. Quanto a absorção pelas raízes, os problemas de toxidez começam a surgir para concentrações acima de 4 meq/L.

Richards (1954) afirma existir boa evidência de toxidez específica de cloro em algumas árvores e espécies de cultivos. Há informações de queimaduras por cloro em espécies de árvores nativas e cítricos.

Compostos inorgânicos

Dentre os compostos inorgânicos presentes na água, os metais pesados são os de maior importância por serem tóxicos às plantas e ao ser humano quando em concentrações elevadas. Os metais pesados mais comumente encontrados na água são: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata. Muitos desses metais se acumulam na cadeia alimentar transferindo-se aos organismos situados em degraus superiores dessa cadeia. Normalmente as

concentrações desses metais pesados na água são pequenos, mas podem ocorrer isoladamente contaminações que serão detectadas a longo prazo. Ribeiro & Paterniani (1992) relatam a contaminações por metais pesados de hortaliças devido a chuvas ácidas na região de Campinas, SP em razão de um incêndio acidental ocorrido em uma grande refinaria de petróleo próxima a cidade. Recentemente, jornais de todo o país trouxeram a público relatos de contaminação do solo e da água, também na região de Campinas, SP, por metais pesados devido a vazamentos ocorridos em uma indústria produtora de agroquímicos. Assim, fica evidente que o aumento na concentração de metais pesados na água é devido a despejos de efluentes industriais o que torna preocupante em determinadas regiões devido ao poder acumulativo destes compostos. Além dos metais pesados, outros compostos como cianetos e fluor tem merecido atenção devido a seus poderes tóxicos para organismos aquáticos e consumidores de água.

A remoção desses compostos inorgânicos da água exigem combinação de processos químicos e físicos, como coagulação e filtração e osmose reversa em alguns casos.

Compostos orgânicos

Alguns compostos orgânicos por serem resistentes a degradação biológica se acumulam em ambientes aquáticos tornando-se tóxicos a partir de uma determinada concentração. É o que ocorre com os defensivos agrícolas organoclorados e organofosforados, alguns tipos de detergentes contendo ABS, e grande número de produtos químicos.

A origem desses compostos na água está associada a despejos de efluentes industriais e também do uso indiscriminado de defensivos agrícolas. Para suas remoções ou redução de suas concentrações exigem-se processos físicos e químicos complexos uma vez que estão quase sempre dissolvidos na água.

3.4 - Parâmetros biológicos.

Coliformes

São indicadores da presença de microorganismos patogênicos na água; os coliformes fecais existem em grande quantidade nas fezes humanas e, quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microorganismos causadores de doenças. O controle da presença de coliformes fecais na água de irrigação é muito importante, principalmente quando se emprega irrigação localizada para culturas ingeridas "in natura", como por exemplo hortaliças. Mas não se deve descartar o controle desses microrganismos na irrigação de culturas graníferas, simplesmente pelo fato destas estarem livres de serem contaminadas, pois a presença de coliformes numa água de irrigação pode por em risco a saúde dos operários que estão trabalhando no manejo do sistema colheita da cultura e mesmo de atividades pós-colheita. Assim a garantia de uma água isenta de coliformes fecais numa propriedade rural garante melhor qualidade de vida a comunidade como um todo.

Esse parâmetro de controle de qualidade da água para irrigação tem merecido grande atenção nos últimos tempos devido a difusão das técnicas de reuso de água residuárias para irrigação. Embora o reuso da água venha a

contribuir para a economia desse escasso recurso natural, deve-se tomar cuidado com relação a contaminações por organismos patogênicos, pois mesmo após a colheita alguns microrganismos sobrevivem nos frutos e hortaliças por várias semanas podendo contaminar seus consumidores.

A técnica mais eficiente para a remoção de coliformes e microrganismos da água é a desinfecção. Essa pode ser feita com cloro que normalmente apresenta menor custo, ou outro agente desinfetante como ozônio ou radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta, embora tenha custo ainda maior do que a cloração vem se tornando uma opção interessante uma vez que não deixa resíduos. O uso de cloro deve ser bem controlado pois seu resíduo pode combinar-se com outras substâncias presentes na água e dar origem aos Trihamoletanos (THM) que são altamente cancerígenos.

Processos físicos de filtração, quando bem eficientes, reduzem satisfatoriamente a concentração de microrganismos da água exigindo, assim, menor dosagem ou concentração do agente desinfetante.

Algas

As algas desempenham um importante papel no ambiente aquático, sendo responsáveis pela produção de grande parte do oxigênio dissolvido do meio; em grandes quantidades, como resultado do excesso de nutrientes (eutrofização), trazem alguns inconvenientes: sabor e odor; toxidez; turbidez e cor; formação de massas de matéria orgânica que, ao serem decompostas, provocam a redução do oxigênio dissolvido; corrosão; interferência nos processos de tratamento da água; aspecto estético desagradável.

É comum a proliferação de grandes quantidades de algas em mananciais e açudes próximos às áreas intensamente adubadas para o cultivo. O excesso de fertilizantes, carregados aos mananciais pela água das chuvas ou mesmo pelo excedente de água de irrigação, criam um ambiente eutrofizado favorecendo o crescimento de algas. Algas em excesso nas águas de irrigação, principalmente as algas filamentosas, contribuem significativamente para a obstrução de emissores nos sistemas de irrigação localizada. Esse problema é crescente e preocupante quando se utiliza a fertirrigação, uma vez que tem sido encontrado grande quantidade de algas e fungos obstruindo gotejadores e elementos filtrantes desenvolvidos a partir do ambiente favorável causado pela introdução de fertilizantes na linha de irrigação.

Esse problema parece não ter outra solução a não ser o uso de tratamento químico. Contudo, testes mais recentes realizados por Scatolini & Paterniani, (2000) concluíram que filtros de mantas sintéticas não tecidas são muito mais eficientes que os elementos filtrantes tela e de disco de 120 mesh, comumente utilizados na irrigação localizada, na remoção de algas, conforme mostra o gráfico da Figura 3.

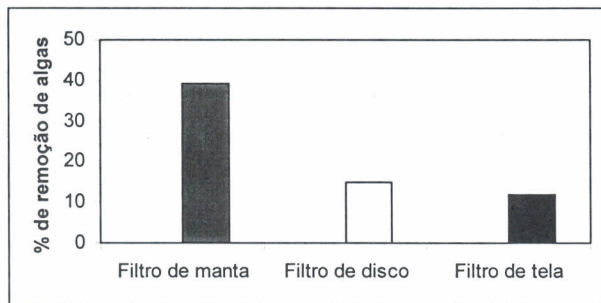


Figura 3 -Porcentagem de remoção de algas da água de irrigação por filtros de tela, de disco e de manta sintética não tecida

Diante de vários parâmetros de controle de qualidade de água para irrigação torna-se difícil estabelecer um padrão único de qualidade da água para esse fim, mesmo porque as diferentes tolerâncias de cada cultura implicariam em padrões diferenciados.

Certamente novas propostas de classificação de qualidade da água deverão surgir, principalmente incorporando-se aos parâmetros de controle aqueles relacionados aos aspectos sanitários, ou seja relativos a presença de microrganismos patogênicos cada vez mais frequentes nos mananciais contaminados e que podem por em risco não somente a saúde do solo ou da cultura irrigada mas também do ser humano.

4 - INTRODUÇÃO ÀS TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.

4.1 - Generalidades

O uso de água de boa qualidade não só na irrigação das culturas, mas também em todo o manejo destas e em outras atividades agrícolas ou domésticas na propriedade rural reflete direta ou indiretamente na qualidade e eficiência da produção agrícola. Assim, na maioria das vezes se faz necessário empregar técnicas de tratamento de água para torná-la adequada ao uso. Existem diversas técnicas de tratamento de água com objetivos comuns de retirar da água impurezas indesejáveis ou reduzir a concentração destas a níveis aceitáveis. Esses tratamentos podem ser físicos e químicos que podem ser empregados isoladamente ou em conjunto dependendo da qualidade da água bruta. A seguir

apresentam-se as principais características de sistemas de tratamento de água apropriados para propriedades rurais especialmente para irrigação localizada.

4.2 - Tratamento Físico.

Aeração

Aeração ou arejamento consiste no processo pelo qual se faz a transferência de substâncias voláteis da água para o ar e substâncias solúveis do ar para a água a fim de se obter o equilíbrio entre os teores dessas substâncias.

No tratamento de águas a aeração é realizada com os seguintes objetivos:

- a) remoção de gases dissolvidos em excesso nas águas e também de substâncias voláteis
- b) introdução de gases na água para a oxidação de compostos ferrosos ou manganosos

A aeração nem sempre é necessária no tratamento da água, principalmente quando esta está em contato com o ar. Atualmente a aeração deve ser prevista e realizada quando a água possui gás carbônico em excesso, ácido sulfídrico, ferro dissolvido e substâncias voláteis aromáticas de origem vegetal, normalmente acumulada nos grandes reservatórios.

Os princípios básicos da transferência de substâncias voláteis da água para o ar ou do ar para a água depende de uma série de fatores que abrange as características da substância, a temperatura, a resistência específica à transferência, a pressão parcial do gás, a turbulência, o tempo de exposição e a relação área/volume no aerador. Richter (1991)

Filtração

Existem diversos tipos de filtros com diferentes meios filtrantes no mercado e outros passíveis de serem fabricados no local com certa facilidade, cada um com sua particularidade, eficiência e indicação. Os filtros mais utilizados para irrigação localizada são os filtros de areia, de disco e de tela que funcionam pressurizados instalados na linha de irrigação e podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto. Na mesma linha dos filtros pressurizados estão os filtros de mantas não tecidas propostos por Paterniani, mas ainda não comercializados. Numa outra especialidade estão a filtração lenta e a filtração em múltiplas etapas (FiME), proposta inicialmente para tratamento de águas de abastecimento, mas que tem demonstrada eficiência e viabilidade também para tratamento de água para irrigação localizada. A seguir são apresentadas algumas características de cada um destes principais tipos de filtros.

a) Filtro de Areia

Os filtros de areia são estruturas cilíndricas contendo camadas de cascalho e areia com a função de filtrar partículas mais grossas principalmente a matéria orgânica. A água escoar através das camadas de cascalho e areia onde as impurezas dissolvidas são retidas durante o escoamento. Estes tipos de filtros são imprescindíveis em condições onde a água não é proveniente de poços artesianos ou semi-artesianos ou quando a água é armazenada em reservatórios descobertos que facilitam o desenvolvimento de algas. É conveniente sempre instalar no mínimo dois filtros, para que a lavagem de um deles seja feita com a água filtrada pelo outro. Devem ser dispostos no cabeçal de controle antes do equipamento de injeção de fertilizantes.

Buchs e Nakayama(1986), sugerem que para um bom desempenho do filtro de areia é necessário efetuar uma retrolavagem quando o diferencial de pressão entre a entrada e a saída do filtro for da ordem de 6 m.c.a.. Porém Bernardo (1989), afirma que a limpeza do filtro deve ser feita toda vez que se notar um aumento na perda de carga, provocada pelo filtro de mais ou menos 2 m.c.a. em relação ao filtro limpo, ou no final da irrigação. Não devendo nunca permitir que a perda de carga chegue a 6 m.c.a., para não comprometer a uniformidade de distribuição de água às plantas.

b) Filtro de Tela

Trata-se de um filtro constituído por um corpo geralmente de forma cilíndrica que aloja em seu interior o elemento filtrante, composto de um suporte perfurado metálico ou plástico recoberto por uma tela (Lopez, 1992).

Os filtros de tela, assim como os filtros de disco, que será descrito mais adiante, têm como principal objetivo reter a passagem de partículas sólidas inorgânicas em suspensão na água de irrigação, sendo a abertura das telas classificadas como um valor em *mesh* (Onde: *mesh* é igual ao número de malhas por polegadas linear). Segundo manual da empresa israelense PLASTRO, as telas destes filtros podem ser de materiais plásticos ou metálicos, variando de 50 à 200 *mesh*. O tamanho dos filtros bem como os seus números de *mesh* são definidos conforme a necessidade, de acordo com as partículas que deverão ser removidas e de acordo com o tipo de emissor utilizado.

Segundo Vermeirem & Jobling (1980), geralmente nos sistemas de irrigação localizada o filtro de tela está instalado depois do filtro de areia

(constituindo um sistema de filtração combinado) e do sistema injetor de fertilizantes, quando a fertirrigação é empregada. Entretanto este filtro é pouco eficiente na retenção de matéria orgânica, microrganismos e partículas pequenas ou coloidais, pois a separação das impurezas consiste em um processo de retenção superficial de partículas na tela que se obstruem muito rapidamente

O fator determinante para o entupimento dos filtros de tela é o diâmetro das partículas de areia fina porque bloqueiam diretamente a área dos poros, enquanto que as partículas de areia grossa necessitam preencher todo o volume do elemento filtrante para que ocorra o mesmo efeito (Phillips, 1993)

c) Filtro de disco:

O filtro de disco apresenta forma cilíndrica e é normalmente empregado no mesmo corpo do filtro de tela, porém invertendo-se o sentido do fluxo de água. O elemento filtrante que o compõe é um conjunto de anéis com ranhuras impressas sobre um suporte central também cilíndrico e perfurado. A água é filtrada ao passar pelos pequenos condutos formados pelas ranhuras entre 2 anéis consecutivos (Lopez, 1992).

A qualidade da água neste tipo de filtro dependerá da espessura das ranhuras, podendo conseguir um número de ranhuras equivalente a unidade em *mesh* dos filtros de tela. O filtro é compacto e bastante resistente, admitindo pressões de trabalho até 10 atm. Tanto para o filtro de disco como para o de tela a limpeza deve ser manual e consiste em abrir o corpo do filtro e limpá-los com jato de água, sendo que para o filtro de disco há necessidade de separar os anéis para que a limpeza seja eficiente. Pode-se utilizar a retro-lavagem embora

este método, segundo alguns autores, não permite uma limpeza eficiente.

d) Filtros de mantas sintéticas não tecidas

Objetivando aperfeiçoar os sistemas de filtração lenta para o tratamento de águas de abastecimento, Mbwette & Graham (1987), e mais recentemente PATERNIANI (1991), realizaram investigações experimentais utilizando mantas sintéticas não tecidas, instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos.

As mantas sintéticas não tecidas são geralmente fabricadas com fibras de polipropileno, poliamida e poliéster, possuem alta porosidade (cerca de 80 a 90% contra 45% da areia) e alta superfície específica que proporcionam pequena perda de carga aumentando-se conseqüentemente a duração da carreira de filtração além de possuir maior volume de vazios para armazenagem das impurezas retidas.

As características e propriedades físicas das mantas sintéticas não tecidas sugerem que são bastante adequadas para a filtração de água contendo partículas sólidas em suspensão já que não se deterioram na água e são fáceis de serem limpas.

Paterniani (1991), afirma que a combinação dos parâmetros: condutividade hidráulica, superfície específica e espessura das mantas, determinam a manta que melhor se adapta às condições de filtração, assim como a taxa de filtração, a qualidade da água e o sistema de filtração utilizado.

Silva(1996), realizou diversos ensaios experimentais introduzindo numa

instalação de irrigação localizada uma mistura de água com areia para simular a contaminação da água. Foi empregada uma mistura de água e areia de granulometria variando de 53 a 152 μm , sendo que a concentração de areia na água de irrigação variou de 70 a 300 mg/l .

Operando filtros de tela, disco de 120 *mesh* e de manta, com vazões que variaram de 6, 9 e 12 m^3/h , Silva (1996), obteve resultados que mostraram uma eficiência média de remoção de partículas de areia da ordem de 15 a 25 % pelo filtro de manta contra uma percentagem média de remoção de 2 a 10 % nos filtros de tela e de disco.

Além disso Silva (1996), observou que o filtro de manta quando operado com uma vazão de $9\text{m}^3/\text{h}$ demorava cerca de 75 minutos para ter sua perda de carga elevada de 0.5 a 3.7 m. c. a., enquanto que os filtros de tela e de discos levavam cerca de 58 minutos para alcançar a mesma perda de carga. Tal resultado confere ao filtro de manta maior vantagem do que os filtros de tela e de disco quanto ao tempo de funcionamento entre operações de limpeza.

e) Filtração lenta e Filtração em múltiplas etapas (FiME)

A filtração lenta surgiu na Inglaterra por volta de 1818, para tratar águas industriais e proliferou-se ao longo do tempo por diversos países da Europa e também nas Américas devido sua grande eficiência e simplicidade de manutenção e operação. Os filtros lentos possuem normalmente areia como meio filtrante e a retenção de impurezas é feita de forma superficial, nos primeiros centímetros da camada de areia, onde se forma com o passar do tempo uma camada gelatinosa

de impurezas denominada Schmutzdecke, responsável pela eficiência do mesmo. Os filtros lentos são eficientes na remoção de partículas sólidas em suspensão, turbidez, mas principalmente microorganismos, podendo remover cerca de 99,99% destes. A limpeza de um filtro lento é simples, uma vez que não se faz retrolavagem e simplesmente a remoção do Schmutzdecke quando a perda de carga no meio filtrante atinge seu valor limite.

Com o objetivo de otimizar o uso e o tratamento de água numa propriedade rural, Paterniani *et alli* (1998), propuseram o uso de filtros lentos associados a pré-filtros de pedregulho para o tratamento de água de irrigação localizada. Como a filtração da água é contínua através da filtração lenta e a irrigação ocorre apenas em algumas horas durante o dia, basta dimensionar adequadamente um reservatório de armazenamento de água tratada para ser usada na irrigação quando necessária. Assim emprega-se uma única unidade de tratamento de água que poderá beneficiar, com água de boa qualidade, todo o sistema de produção agrícola através de irrigação localizada, bem como o abastecimento da população que reside na propriedade.

A Filtração em múltiplas etapas é um conceito novo de tratamento de água de abastecimento que pode ser empregado também para a irrigação localizada seguindo os mesmos critérios da filtração lenta. Consiste em construir barreiras de filtração antes do filtro lento através de pré-filtros dinâmicos e pré-filtros de fluxo ascendentes ou horizontal, melhorando ainda mais a eficiência do sistema e as possibilidades de aplicação.

O uso de mantas sintéticas não tecidas em conjunto com a areia e

pedregulho tanto nos pré-filtros como no filtro lento tem aumentado consideravelmente a eficiência desse sistema de tratamento.

4.3 - Tratamento químico

O tratamento químico da água, em conjunto com o sistema de filtragem tem-se tornado parte integrante de um sistema de irrigação localizada tipo gotejamento. A cloração é o mais consagrado tratamento químico utilizado para controlar a população microbiana que se desenvolvem no interior das tubulações e podem entupir emissores e gotejadores.

A concentração de cloro ativo de 1 a 2mg/L é a recomendável e a presente em águas municipais tratadas para uso humano.

Ayers & Wesstcot (1991) recomendam os seguintes teores de cloro para controlar o desenvolvimento microbiano na irrigação localizada apresentados no Quadro 8:

Quadro 8 - Teores de cloro para uso em irrigação.

Problema	Doses de Cloro
Algas	0,5 a 1,0 mg/l em forma contínua ou 20 mg/l por 20 minutos
Ácido sulfúrico	3,5 a 9,0 vezes o conteúdo de ácido sulfídrico (mg/l)
Ferro-bactérias	1,0 mg/l, mas varia com a população bacteriana
Mucilagem (Iodo)	0,5 mg/l em forma contínua

O tratamento de água com ácido sulfúrico ou outros ácidos também é considerado como uma possibilidade bastante viável para controlar precipitações de carbonatos em sistemas de gotejo.

Em geral, os ácidos são caros e perigosos, embora em condições extremas seja preciso aplicá-los continuamente. Como regra prática, recomenda-se que os ácidos sejam aplicados em quantidades suficientes para manter o pH da água em valores não inferiores a 6,5. Em algumas ocasiões, tem-se usado a queima de enxofre; o SO_2 formado mistura-se com a água para formar soluções ácidas de H_2SO_4 e H_2SO_3 .

A segurança é peça chave dentro de um tratamento químico. Precauções apropriadas devem ser tomadas no manejo e injeção de produtos químicos nas linhas de irrigação. As ASAE (1990b) desenvolveu normas de segurança para a aplicação de químicos através de sistemas de irrigação.

5 - ESTUDO DE CASOS.

5.1 - Contaminação de água usada na produção de hortaliças em Campinas, SP

Pretende-se ilustrar este tópico através de um estudo de caso realizado recentemente pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp em convênio com a CEASA - Campinas, SP, que resultou em um diagnóstico das condições sanitárias, técnicas e da qualidade da água utilizada para consumo humano e para irrigação de vinte propriedades produtoras de hortaliças da região de Campinas, SP (Paula Junior, *et alli*, 1994).

Através de informações obtidas através de visitas e de questionários preenchidos pelos agricultores, bem como da coleta de amostras de água de diversos mananciais das propriedades pôde-se elaborar um diagnóstico da situação de cada propriedade e comparar os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das águas com os valores recomendados pela resolução CONAMA 20 /86.

O manejo de irrigação predominante era o de turno de rega diário, sem nenhum controle pluviométrico ou de umidade do solo. Técnicas de adubação e fertilização não eram realizadas adequadamente, uma vez que não foi constatado nenhum tipo de critério para adoção dessas técnicas. Esses procedimentos podem acarretar baixa eficiência do uso da água elevando os custos da produção agrícola e podendo, ainda, levar a uma deterioração direta ou indireta da qualidade da água disponível nas propriedades.

Os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água coletadas estão apresentadas separadamente para as águas utilizadas para consumo humano, Quadro 9, e para águas usadas para irrigação, Quadro 10.

As 20 propriedades produtoras de hortaliças apresentaram, nas águas destinadas à irrigação, concentrações de coliformes fecais acima do permissível para "classe 1" na resolução CONAMA 20/86 indicando que essas águas recebem carga de esgoto doméstico e/ou de adubação orgânica e por isso estão impróprias , do ponto de vista sanitário, para a prática de irrigação por aspersão, uma vez que estas culturas estão sujeitas a contaminação por microorganismos

patogênicos e podem pôr em risco a saúde da população que as consomem. Quanto aos parâmetros físicos e químicos, pôde ser verificado que a grande maioria dos reservatórios apresentaram teores elevados, principalmente de ferro, manganês e cobre, não se enquadrando nos padrões recomendados pela legislação vigente. As águas de poços, destinadas ao consumo humano sem qualquer tratamento apresentaram índices elevados de coliformes fecais e totais para quase 80% das propriedades estudadas.

Em 50% das propriedades cadastradas o teor de nitrato na água de poços estava bem acima do recomendado pela legislação para água potável. Essa contaminação por nitrato pode ser atribuída a infiltração, no solo, deste composto químico proveniente do uso intenso de fertilizantes.

Dessa forma pode-se concluir que existe um risco em potencial à saúde da população que consome essas águas.

Quadro 9 - Resultados das análises das amostras de água (poços)

Amostras	Col. Total NMP/100	Col. Fecal NMP/100	pH	Turbidez UNT	Nitrato	Sol.Totais
1	0,0	0,0	5,9	0,3	5,00	118
2	16,0	2,2	6,7	0,8	29,92	316
3	16,0	0,0	4,9	0,2	14,40	169
4	0,0	0,0	6,6	0,6	9,44	81
5	16,0	16,0	6,5	0,2	1,77	36
6	16,0	2,2	6,0	0,4	3,79	45
7	0,0	0,0	4,0	0,2	51,00	198
8	16,0	5,1	5,5	0,5	31,00	156
9	16,0	0,0	4,3	0,3	110,00	863
10	0,0	0,0	4,5	0,3	56,70	225
11	16,0	16,0	6,4	0,8	21,10	91
12	16,0	2,2	5,2	0,3	11,85	62
13	16,0	16,0	5,0	1,0	29,82	138
14	16,0	0,0	4,2	1,5	59,70	169
15	16,0	2,2	4,1	0,2	73,60	247
16	16,0	0,0	3,9	0,2	78,00	232
17	16,0	16,0	4,1	0,4	136,40	391
18	16,0	5,1	4,5	0,3	9,37	124
19	16,0	0,0	5,2	0,3	0,84	49
20	16,0	16,0	4,6	0,7	2,41	61
21	9,1	2,2	4,6	0,6	2,26	52
22	0,0	0,0	5,6	0,4	1,77	48
23	16,0	5,1	5,3	0,3	5,55	9
24	16,0	0,0	5,2	0,4	16,40	220
25	16,0	16,0	5,7	0,2	6,41	75
26	16,0	5,1	5,5	0,4	6,30	144

Fonte: Paula Junior, etalli, 1994

Quadro 10 - Resultados das análises das amostras de água (Reservatórios)

Col. Total	Col. Fecal	Cor	pH	Turbidez	DBO	DQO	Ferro	Mn Total	Nitrato	Nitrito	OD
NMP/10 0 ml	NMP/10 0 ml	mgPt/l		UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1700	1100	73	7,7	9	4	22	0,65	0,068	1,09	0,01	10,0
200	200	87	8,4	5	4	22	0,30	0,078	2,50	0,02	9,5
6000	200	83	7,6	7	2	15	0,85	0,088	1,10	na	8,0
2200	800	40	7,6	12	2	8	0,40	0,184	2,02	0,01	8,4
40	20	67	8,7	11	2	17	0,24	0,085	0,67	0,08	6,1
2200	70	146	8,8	27	2	8	1,68	0,126	na	2,01	8,0
700	200	260	7,0	46	2	18	2,24	0,144	na	0,01	na
400	200	288	7,2	66	1	8	2,38	0,129	0,02	na	na
600	220	78	6,4	16	2	3	2,68	0,088	62,30	0,06	8,4
600	280	880	5,5	130	8	18	6,38	0,264	1,83	0	8,8
220	140	800	7,5	128	3	18	4,38	0,230	1,64	0	8,4
60000	13000	302	7,1	67	9	12	0,28	0,043	na	0,8	8,8
30000	12000	232	7,1	56	2	18	1,32	0,126	na	0,05	2,5
3000	3000	88	8,8	17	3	46	0,10	0,038	0,20	0,02	8,0
200	200	72	6,8	16	2	10	0,30	0,037	1,47	0,01	8,7
13000	1400	269	8,0	57	2	77	8,30	0,112	na	0,01	2,0
200	200	128	8,5	23	1	24	1,76	0,118	na	0,01	8,0
800	200	260	7,2	28	3	18	1,00	0,068	1,03	0,02	7,8
400	200	720	8,7	87	3	64	2,60	0,148	0,48	na	8,4
6000	200	130	8,0	24	3	12	2,80	0,061	1,20	0,01	8,2
80000	7000	168	7,4	27	1	86	2,40	0,482	na	0,01	6,8
3000	3000	217	8,8	26	8	28	2,50	0,680	0,58	0,02	8,0
									na = não analisado		

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

- ALLISON, L. E. **Salinity in relation to irrigation**. California, United States Salinity Laboratory, 1964, p.139-178.
- AYRES, R. S.; WESTACOT, D. W. **Quality of water for agriculture**. Roma, FAO, 1976, 97p.
- BERNADO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, 1982. 463p.
- COSTA, R. G. **Caracterização da qualidade da água de irrigação da Micro-Região Homogênea de Catolé do Rocha-PB**. Campina Grande, UFPB, 1982. 89p. (Tese de mestrado).
- GUROVICH, L. A. **Fundamentos y diseño de sistemas de riego**. San José, Costa Rica. 1985, 433p. (IICA/Série de libros y materiales educativos, n.59).
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. Washington. United States Salinity Laboratory Staff. 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- HAINBERG, I.; OSTER, J. D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagen, International Irrigation Center,. 1978. 65p.
- THORNE, S. W.; PETERSON, H. B. **Irrigation soils**. Bombay, McGraw-Hill, 1954. 362p.
- WILCOX, L. V. **Classification and use of irrigation waters**. Washington . U. S. Departments of Agriculture. 1955, 19p.
- MOTA, S - **Introdução à Engenharia Ambiental ABES**, 1ª edição, 1997, Rio de Janeiro, RJ.
- KRUG, F.S. - **Critério de Qualidade de Águas** CENA, USP, Piracicaba, SP, 1980.
- PAULA JR. et alli. Avaliação da qualidade da água no meio rural: **Propriedades produtoras de hortaliças** XXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária y Ambiental, Buenos Aires, Argentina, 1994
- BRANCO, S.M. - **Hidrobiologia Aplicada à engenharia Sanitária** CETESB, ABES, 2ª edição, 1978

- FOLHA DE SÃO PAULO, “**Água será o estopim de guerras no século 21**”Ed. 07/02/1996 - “SP quer cobrar por captação de água”- Ed. 19/10/1997.
- DI BERNARDO, L. (1999) - **Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro.
- PATERNIANI, J. E. S. (1991)– “Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos.
- AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de Gheyi H.R.; Medeiros, J.F. F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p.
- NAKAYAMA, F.S. Water analysis and treatment techniques fo control emitter plugging. In: **Proc. Irrigation Association Conference**, 21-24 February 1982, Portland, Oregon, 1982.
- SILVA, L. B. . *Avaliação de um filtro de manta sintética não tecida para a irrigação localizada*. Tese de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, Campinas, 1996.
- MABWETTE, T. S. A. & GRAHAM, N.J. D. *Improving the efficiency of slow sand filtration with non wovem synthetic fabrics* . IN : **Filtration and separation**. v. 24, p. 46-50, 1987.
- NAKAYAMA, F. S. & BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. U. S. **Department of Agriculture**, Agricultural Researche Service, U. S Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona-USA, 1986. 38p.