



II-411 – REÚSO DE EFLUENTES DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DE JUAZEIRO DO NORTE NA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DE MILHO

Cláudia Elizângela Tolentino Caixeta

Engenheira Química e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutoranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Supervisora de Controle Ambiental da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE.

Maria Amélia Souza Menezes

Geóloga, Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Mestre em Recursos Minerais e Hidrogeologia pela Universidade de São Paulo – USP. Gerente de Meio Ambiente da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE.

Maria Gorethe de Sousa Lima

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil (área de concentração: Engenharia Sanitária) pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora da Faculdade de Tecnologia CENTEC CARIRI – FATEC, Juazeiro do Norte - CE.

Roselene de Lucena Alcântara

Engenheira de Materiais, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Doutora em Recursos Naturais, pela Universidade Federal de Campina Grande. Professora da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) – Campus de Angicos - RN

Raimundo de Sá Barreto Grangeiro

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Agrometeorologia pela Universidade Federal de Campina Grande. Diretor e Professor da Faculdade de Tecnologia CENTEC – FATEC Cariri, Juazeiro do Norte - CE.

Endereço⁽¹⁾: Av. Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030, Vila União, Fortaleza-CE. CEP 60420-280. Tel (85) 3101-1816; (85) 3101-1815. E-mail – claudiacaixeta@cagece.com.br.

RESUMO

Considerando-se a importância da produção de milho para o estado do Ceará, bem como ao fato de seu cultivo se limitar a períodos chuvosos, aliada as vantagens do reúso de águas na agricultura, a prática do reúso de águas residuárias tratadas no cultivo do milho se constitui numa alternativa bastante promissora, pois além de contribuir com o aumento da produção de grãos, e, conseqüentemente, com o atendimento da demanda local, também gera emprego e renda para a população. Com base nessa premissa esse trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade ambiental e agrônômica do reúso de efluentes do sistema de lagoas de estabilização da cidade de Juazeiro do Norte - CE, na irrigação do cultivo de milho (*Zea mays* L.) híbrido AGN 2012, como forma de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições ambientais, culturais e sócio-econômicas da região do cariri cearense, bem como à disseminação de informações pertinentes à prática do reúso agrícola. A irrigação foi feita por sulcos, utilizando efluente da lagoa de maturação com correção de pH (T1), água proveniente do sistema de abastecimento do município do Juazeiro do Norte, cujo manancial é um poço tubular (T2) e o efluente da lagoa de maturação sem correção de pH (T3). Durante todo o experimento foi realizado o monitoramento da qualidade do efluente da lagoa de maturação e da água do sistema de abastecimento do município de Juazeiro do Norte. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, demonstrando que a adoção da prática de reúso poderá contribuir, efetivamente, para: proteger os recursos hídricos; reduzir o consumo de fertilizantes; aumentar a produtividade das culturas, sem aumentar a demanda por água; e criar mais empregos.

PALAVRAS-CHAVE: lagoas de estabilização; reúso de águas; irrigação com esgoto.



INTRODUÇÃO

Na atualidade, mais de um terço do planeta se encontra em situação de escassez quantitativa e qualitativa de recursos hídricos, surgindo, então, a necessidade de implementação de sistemas que visem reaproveitar as águas residuárias, dado que os aglomerados urbanos geram grandes volumes de esgotos que são lançados, na sua maior parte, em corpos aquáticos, sem o devido tratamento.

A reutilização de água de qualidade inferior em atividades menos exigente é imperativa nos dias de hoje, em primeiro lugar, como forma de preservar a água de melhor qualidade para o consumo humano e outros usos similares, proporcionando aumento da oferta e otimizando o uso dos recursos hídricos; e depois, como barreira contra a contaminação dos corpos receptores e como forma de mitigar a poluição hídrica.

A utilização de efluentes tratados para fins produtivos vem merecendo destaque dentre as estratégias de diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, tanto os situados em regiões semi-áridas ou não (METCALF e EDDY, 2003). Segundo Bastos *et al.* (2003), nas três últimas décadas, a irrigação com esgotos sanitários tornou-se prática crescente em todo o mundo. Países como Estados Unidos da América, Canadá, Israel, Austrália, México e regiões secas da África e Ásia, são exemplos nos quais grandes volumes de esgotos sanitários são reutilizados na irrigação, indústria, recarga de aquíferos, etc (FEINGIN *et al.*, 1991).

No Brasil, a prática de reúso de esgotos tratados para irrigação constitui-se em um procedimento não institucionalizado e tem se desenvolvido sem planejamento ou controle. Na maioria das vezes, é inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes, para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos. Assim, apesar de já existir atividade de reúso de água com fins agrícolas em certas regiões do Brasil, a qual é exercida de maneira informal e sem as salvaguardas ambientais e de saúde pública adequadas, torna-se necessário institucionalizar, regulamentar e promover o setor por meio da criação de estruturas de gestão, preparação de legislação, disseminação de informação, e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições técnicas, culturais e sócio-econômicas brasileiras.

Ressalta-se que a qualidade da água de reúso é determinante não somente em função de suas características físico-químicas e microbiológicas, como também da adequação ao uso específico a que se destina. Apesar dos inúmeros benefícios propiciados pelo reúso, ele apresenta alguns riscos ao meio ambiente e à saúde da população. Há uma vasta literatura evidenciando os problemas de saúde em razão do reúso do esgoto bruto ou insuficientemente tratado. Em decorrência disto, os padrões e orientações para reúso da água têm considerado, principalmente, a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Diversos países e regiões de clima árido e semi-árido, onde o reúso é uma prática comum, possuem critérios ou orientações visando assegurar que essa prática não apresente riscos incontroláveis para a saúde. Todavia, esses problemas ou riscos podem ser minimizados e/ou eliminados desde que se adotem as medidas preventivas necessárias.

Neste contexto, a qualidade da água de irrigação é determinante não somente em função de suas características físicas, químicas e biológicas, como também da adequação ao uso específico a que se destina (AYERS e WESTCOT, 1991). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas características, mas também dos efeitos e riscos à saúde e ao meio ambiente (BLUM, 2003).

É preciso que os padrões de qualidade sanitária das águas residuárias destinada ao uso na agricultura sejam atendidos, a fim de evitar possíveis problemas de saúde aos consumidores e aos trabalhadores que irrigam e manuseiam as culturas. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) recomendou, para irrigação irrestrita, uma concentração de, no máximo, um ovo de nematóide por litro de efluente e menos de 1000 coliformes fecais por 100 mL.

Contudo, a realidade da prática do reúso agrícola no Brasil, principalmente em regiões mais carentes, é bastante preocupante, pois esta tem se desenvolvido de forma inadequada, sem qualquer planejamento ou controle. Muitos agricultores, impelidos pela escassez de água, que contribui para uma redução na produção agrícola, e por desconhecerem os riscos inerentes da prática inadequada do reúso à saúde pública dos consumidores e para o meio ambiente, utilizam águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes, e, em alguns casos, fazem uso de águas residuárias domésticas, sem nenhum tratamento, para irrigação de diversas culturas, incluindo hortaliças e outros vegetais.



Na cidade de Juazeiro do Norte, apesar da existência de um sistema de lagoas de estabilização que gera efluentes com qualidade microbiológica adequada à irrigação, os agricultores utilizam, há alguns anos, águas residuárias domésticas, sem tratamento, na irrigação dos cultivos de arroz, acerola, milho e forrageiras, em condições totalmente insalubres. Porém, uma ressalva deve ser feita com relação ao uso de efluentes do referido sistema de lagoas à irrigação, já que este recebe despejos industriais (indústria de couro, de galvanoplastia, de ourivesaria) contendo metais pesados na forma dissolvida, os quais, por serem tóxicos e se potencializarem na cadeia trófica, podem inviabilizar o uso destes efluentes para diversos fins, como a agricultura e piscicultura.

Dentre os produtos agrícolas de grande relevância para a região do cariri cearense, e, de maneira geral, para o estado do Ceará, e demais regiões do nordeste, o milho merece destaque, pois além de estar incorporado à dieta básica das famílias dos produtores, é bastante utilizado pela população urbana (alimento rico em energia e de preço relativamente baixo). Também é um componente fundamental na ração de animais de grande significado na geração de renda e alimentos (como é o caso da suinocultura e avicultura). Porém, sua crescente utilização tem causado problemas no abastecimento regional, pois a quantidade de grãos produzida é pequena para atender a demanda, tornando necessária a busca do produto em outras regiões do País, onerando o preço de seus derivados diretos ou indiretos (SILVA, 2006).

Neste sentido, considerando-se a importância da produção de milho para o estado do Ceará, bem como ao fato de seu cultivo se limitar a períodos chuvosos, aliada as vantagens do reúso de águas na agricultura, a prática do reúso de águas residuárias tratadas no cultivo do milho se constitui numa alternativa bastante promissora, pois além de contribuir com o aumento da produção de grãos, e, conseqüentemente, com o atendimento da demanda local, também gera emprego e renda para a população.

OBJETIVOS

Estudar a viabilidade ambiental e agrônômica do reúso de efluentes do sistema de lagoas de estabilização da cidade de Juazeiro do Norte - CE, na irrigação do cultivo de milho híbrido, como forma de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições ambientais, culturais e sócio-econômicas da região do cariri cearense, bem como à disseminação de informações pertinentes à prática do reúso agrícola.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi resultado da parceria firmada entre a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e a Faculdade de Tecnologia CENTEC – Cariri, em Juazeiro do Norte – CE. A referida pesquisa foi conduzida na área da estação de tratamento de esgotos (ETE MALVAS) do município de Juazeiro do Norte – CE, de propriedade Cagece, cujas coordenadas geográficas são de 6° 38' 05"S de latitude, 38° 42' 00" W de longitude e uma altitude de 377 m acima do nível do mar. O clima da região é do tipo semi-árido quente. A temperatura média anual é de 35°C, com precipitação média anual de 1.100 mm, concentrada nos meses de janeiro a maio.

A referida estação é composta de níveis de tratamento preliminar e secundário, sendo o primeiro composto por gradeamento, caixas de areia, medidor de vazão e estação elevatória e o segundo, composto por um sistema de lagoas de estabilização constituído por duas lagoas anaeróbias, duas facultativas e uma de maturação (Figura 1)

A área do experimento (433,2 m²) está localizada a aproximadamente 5 m do talude da lagoa de maturação (lado leste). Antes da instalação do experimento foram realizadas limpeza, aração e gradagem do terreno, visando uma melhor homogeneização do solo, facilitando assim as etapas subseqüentes ao plantio. Em seguida, a área foi demarcada, construídas as taipas e sulcamento das linhas de plantio. Após o preparo do solo foi realizado o plantio da cultura do milho (*Zea mays* L.) híbrido AGN 2012. Vale ressaltar que este híbrido é adaptável às condições edafoclimáticas da região do cariri cearense.

A irrigação foi feita por sulcos, numa frequência de 2 vezes por semana. Para a irrigação foram utilizados o efluente da lagoa de maturação com correção de pH (T1), água proveniente do sistema de abastecimento do município do Juazeiro do Norte, cujo manancial é um poço tubular (T2) e o efluente da lagoa de maturação sem correção de pH (T3), que foi fornecida pela CAGECE. Os efluentes dos Tratamentos T1 e T3 e água do poço foram armazenados, separadamente, em caixas d'água com capacidade de 1000L. Estes foram

monitorados semanalmente, sendo as análises realizadas nos laboratórios de Análises Físico – Químicas de Águas e Efluentes (LAE) e Análises Microbiológicas de Águas e Efluentes (LMAE) da Faculdade de Tecnologia CENTEC – Cariri, em Juazeiro do Norte – CE. Todos os procedimentos analíticos encontram-se descritos em American Public Health Association / Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).



Figura 1 – Sistema de lagoas de estabilização do município do Juazeiro do Norte

O plantio foi realizado em covas dentro de um sulco, sendo 4 sulcos por tratamento e 12 covas por sulco, utilizando-se três sementes em cada cova. Durante a fase do desenvolvimento foram realizadas três pulverizações utilizando os agrotóxicos Folisuper e Endosulfan para o combate das pragas da cultura do milho, com ênfase na lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Ressalta-se que as pulverizações foram realizadas em todos os tratamentos.

A colheita do milho foi realizada retirando-se as duas fileiras centrais de cada parcela, deixando-se meio metro no início de cada fileira como borda (área útil). Durante todo o experimento foi realizado o monitoramento da qualidade do efluente da lagoa de maturação e da água do sistema de abastecimento do município de Juazeiro do Norte. Com relação à água do sistema de abastecimento do município, as variáveis que serão avaliadas, bem como a metodologia utilizada, estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis analisadas durante o monitoramento da qualidade físico-química da água do sistema de abastecimento de Juazeiro do Norte - CE.

| Variáveis | Unidade | Metodologia |
|---|--------------------------|----------------------------------|
| Alcalinidade total (AT) | mgCaCO ₃ .L-1 | Titulação potenciométrica |
| Alumínio | mg/L | Método volumétrico |
| Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻) | meq/L | Titulação potenciométrica |
| Boro (B) | meq/L | Absorção atômica |
| Cálcio (Ca) | meq/L | Método volumétrico |
| Carbonatos (CO ₃ ²⁻) | meq/L | Titulação potenciométrica |
| Cloretos (Cl) | meq/L | Volumétrico de Morh |
| Condutividade Elétrica (CE) | µs/cm | Método instrumental |
| Ferro (Fe) | mg/L | Colorimétrico da fenantrolina |
| Magnésio (Mg) | meq/L | Método volumétrico |
| Manganês (Mn) | meq/L | Absorção atômica |
| Nitrato (N-NO ₃) | mg/L | Método do salicilato |
| Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃ + NH ₄) | mg/L | Método macro kjeldalh |
| Ortofosfato | mg/L | Método do ácido ascórbico |
| Potássio (K) | meq/L | Fotométrico de chama |
| Potencial hidrogeniônico (pH) | - | Eletrométrico |
| Sódio (Na) | meq/L | Fotométrico de chama |
| Sólidos totais dissolvidos (STD) | mg/L | Gravimétrico |
| Temperatura (T) | ° C | Termômetro filamento de mercúrio |



Tabela 2 – Variáveis analisadas durante o monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica do efluente da lagoa de maturação.

| Variáveis | Unidade | Metodologia | Frequência de Amostragem |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Alcalinidade total (AT) | mgCaCO ₃ L ⁻¹ | Titulação potenciométrica | semanal |
| Alumínio | mg/L | Método volumétrico | mensal |
| Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻) | meq/L | Titulação potenciométrica | semanal |
| Boro (B) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Cálcio (Ca) | meq/L | Método volumétrico | semanal |
| Carbonatos (CO ₃ ²⁻) | meq/L | Titulação potenciométrica | semanal |
| Cádmio (Cd) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Chumbo (Pb) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Cloretos (Cl) | meq/L | Volumétrico de Morh | semanal |
| Cobre (Cu) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Coliformes fecais (CF) | NMP/100 ml | Tubos múltiplos | semanal |
| Condutividade Elétrica (CE) | µs/cm | Método instrumental | semanal |
| Cromo (Cr) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | mg/L | Frascos padrões | semanal |
| Demanda química de oxigênio (DQO) | mg/L | Refluxação fechada | semanal |
| Enxofre (S) | meq/L | Método de Jorgensen | mensal |
| Ferro (Fe) | mg/L | Colorimétrico da fenantrolina | quinzenal |
| Fósforo total (P) | mg/L | Método do ácido ascorbico | quinzenal |
| Helminhos | Nº de ovos/L | Método Bailenger Modificado | semanal |
| Magnésio (Mg) | meq/L | Método volumétrico | semanal |
| Manganês (Mn) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Mercurio (Hg) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Molibdênio (Mo) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Níquel (Ni) | meq/L | Absorção atômica | mensal |
| Nitrato (N-NO ₃) | mg/L | Método do salicilato | semanal |
| Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃ + NH ₄) | mg/L | Método macro kjeldalh | semanal |
| Ortofosfato | mg/L | Método do ácido ascorbico | semanal |
| Potássio (K) | meq/L | Fotométrico de chama | quinzenal |
| Potencial hidrogeniônico (pH) | - | Eletrométrico | diária |
| Sódio (Na) | meq/L | Fotométrico de chama | semanal |
| Sólidos sedimentáveis | mg/L | Decantação em cone imhoff | semanal |
| Sólidos suspensos totais (SST) | mg/L | Gravimétrico | semanal |
| Sulfeto | mg/L | Método iodométrico | quinzenal |
| Temperatura (T) | ° C | Term. filamento de mercúrio | semanal |
| Zinco (Zn) | meq/L | Absorção atômica | mensal |



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efluente e água

Nas Tabelas 03, 04 e 05 são apresentados os valores mínimos (MIN), médios (\bar{X}) e máximos (MAX) dos parâmetros analisados, durante as caracterizações do efluente da lagoa de maturação (com e sem pH corrigido) e da água de poço, utilizados na irrigação da cultura do milho.

Tabela 3 – Caracterização do efluente da lagoa de maturação com pH corrigido.

| PARÂMETROS | UNIDADE | MIN | \bar{X} | MAX |
|--------------------------|------------------------|--------|-----------|---------|
| FÍSICO - QUÍMICAS | | | | |
| Alcalinidade | mg/l | 98,75 | 182,19 | 265,64 |
| Bicarbonato | mgCaCO ₃ /L | 97,50 | 163,75 | 230,00 |
| Carbonato | mgCaCO ₃ /L | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cloretos | mg/L | 307,70 | 387,77 | 467,85 |
| Condutividade Elétrica | μS/cm | 51,20 | 1156,60 | 1462,00 |
| DBO ₅ | mg/l | 53,30 | 58,65 | 64,00 |
| DQO | mg/l | 174,24 | 244,26 | 314,28 |
| Potássio | mg/l | 8,82 | 31,91 | 55,00 |
| Potencial hidrogeniônico | - | 6,75 | 8,03 | 9,32 |
| Sódio | mg/l | 2,21 | 111,10 | 220,00 |
| Sólidos sedimentáveis | ml/l | 0,00 | 0,35 | 0,70 |
| Sólidos Suspensos | mg/l | 98,00 | 134,00 | 170,00 |
| Temperatura | °C | 27,00 | 28,65 | 30,30 |
| BACTERIOLÓGICA | | | | |
| Coliformes totais | NMP/100ml | 9E4 | - | 24E4 |
| Coliformes fecais | NMP/100ml | 4E2 | - | 39E3 |

Tabela 4 – Caracterização da água de poço.

| PARÂMETROS | UNIDADE | MIN | \bar{X} | MAX |
|--------------------------|------------------------|---------|-----------|--------|
| FÍSICO - QUÍMICAS | | | | |
| Alcalinidade Total | mgCaCO ₃ /L | 68,75 | 81,87 | 95,00 |
| Bicarbonato | mgCaCO ₃ /L | 48,75 | 68,12 | 87,50 |
| Carbonato | mgCaCO ₃ /L | 0,00 | 13,19 | 26,39 |
| Cloretos | mg/l | 18,23 | 47,05 | 75,88 |
| Condutividade Elétrica | μS/cm | 177,16 | 217,80 | 258,00 |
| Potássio | mg/l | 1,58 | 5,79 | 10,00 |
| Potencial hidrogeniônico | - | 6,99 | 8,54 | 10,10 |
| Sódio | mg/l | 0,48 | 18,80 | 37,13 |
| Temperatura | °C | 26,00 | 28,50 | 31,00 |
| BACTERIOLÓGICA | | | | |
| Coliformes totais | NMP/100ml | ausente | - | 23E2 |
| Coliformes fecais | NMP/100ml | ausente | - | 17E2 |



Tabela 5 – Caracterização do efluente da lagoa de maturação sem pH corrigido.

| PARÂMETROS | UNIDADE | MIN | \bar{X} | MAX |
|--------------------------|------------------------|--------|-----------|---------|
| FÍSICO - QUÍMICAS | | | | |
| Alcalinidade | mgCaCO ₃ /L | 225,00 | 275,23 | 327,47 |
| Bicarbonato | mgCaCO ₃ /L | 103,75 | 201,87 | 300,00 |
| Carbonato | mgCaCO ₃ /L | 0,00 | 18,12 | 36,25 |
| Cloretos | mg/l | 260,17 | 303,29 | 346,41 |
| Condutividade Elétrica | μS/cm | 802,90 | 1107,41 | 1412,00 |
| DBO ₅ | mg/l | 38,95 | 55,66 | 72,37 |
| DQO | mg/l | 196,96 | 269,11 | 341,26 |
| Potássio | mg/l | 5,17 | 32,58 | 60,00 |
| Potencial hidrogeniônico | - | 8,70 | 9,29 | 9,88 |
| Sódio | mg/l | 26,34 | 123,17 | 220,00 |
| Sólidos Sedimentáveis | mg/l | 0,00 | 0,70 | 1,40 |
| Sólidos suspensos | mg/l | 114,00 | 155,00 | 196,00 |
| Temperatura | °C | 24,00 | 27,15 | 30,30 |
| BACTERIOLÓGICA | | | | |
| Coliformes totais | NMP/100ml | 93E2 | - | 43E4 |
| Coliformes fecais | NMP/100ml | 4E4 | - | 75E2 |

Legenda: MIN – valor mínimo; \bar{X} - valor médio e MAX – valor máximo.

Alcalinidade de bicarbonatos

As concentrações de íons bicarbonatos variaram entre 128 a 246 mgCaCO₃/L para o efluente da lagoa de maturação com pH corrigido (T1) e entre 271,7 a 556 mgCaCO₃/L para o efluente da lagoa de maturação sem correção de pH (T3). O fato das concentrações de íons bicarbonatos (HCO₃⁻) no T1 terem sido menores do que as obtidas no T3 é atribuído à conversão de íons carbonatos (CO₃²⁻) presentes em faixas de pH entre 8,3 a 9,3 (faixa predominante em T3), para íons bicarbonatos (HCO₃⁻); sendo essa conversão decorrente da reação dos carbonatos com o ácido sulfúrico (H₂SO₄) ou clorídrico (HCl), adicionados ao efluente da lagoa de maturação para correção do pH (T1). Na água do poço (T2), os valores oscilaram entre 56,00 a 142 mgCaCO₃/L.

Segundo Santiago (1999), elevadas concentrações de HCO₃⁻ podem aumentar o perigo de sodicidade da água; podendo elevar a proporção relativa de sódio, RAS, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é maior que a solubilidade dos carbonatos de cálcio e magnésio, provocando problemas de infiltração da água no solo. A precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio pode ocorrer dentro das tubulações, ocasionando obstrução (parcial ou total) das tubulações e emissores. Quando utilizada na irrigação, por aspersão, pode causar manchas brancas nas folhas e nos frutos irrigados. Porém, boas práticas de manejo podem permitir o uso desse tipo de água sem grandes problemas. Nesta pesquisa, por ter sido utilizada a técnica de irrigação por superfície, os problemas decorrentes de elevadas concentrações de íons bicarbonatos na água de irrigação (T1 e T3) são reduzidos.

Cloretos

A análise das Tabelas 3 e 5 mostram que a faixa de valores das concentrações de cloretos, determinadas no efluente da lagoa de maturação com pH corrigido (T1) - 6,90 à 13,38 meq/L - foi superior a obtida para o efluente da lagoa de maturação sem correção de pH (T3) - 6,80 à 10,47 meq/L; sendo esse fato atribuído ao processo de correção do pH do efluente da lagoa de maturação com ácido clorídrico. Na água de poço foram



encontradas concentrações variando entre 0,39 a 0,76 meq/L (13,84 a 26,98 mg/L). Bringel *et al* (2007), encontraram concentrações de cloretos em águas naturais variando entre 19 a 32 mg/L, consideradas elevadas para águas naturais. Segundo Macedo (2000), cloretos em águas naturais são encontrados em níveis baixos (7,5 mg/L).

Crook (1993) afirma que concentrações elevadas de cloretos em águas para irrigação podem causar danos a fisiologia do vegetal, acarretando taxas de crescimento abaixo do normal e queima das folhas. De acordo com Mancuso e Santos (2003), concentrações de cloretos acima de 3.550 meq/L (100 mg/L) causam problemas de adsorção foliar e, em menor grau, de absorção pela raiz; podendo, em concentrações acima de 12.425 meq/L (350 mg/L), acarretar problemas graves para as plantas.

Considerando-se as diretrizes de avaliação da qualidade de água para irrigação (AYERS & WESTCOT, 1991 *apud* MOTA *et al*, 2007), à técnica de irrigação por superfície, utilizada como sistema de irrigação nesta pesquisa, o efluente da lagoa de maturação apresentou grau de restrição para uso na irrigação variando de ligeiro e moderado a severo.

Condutividade Elétrica (Ce)

Quanto à condutividade elétrica, pôde ser constatado que, quanto aos valores obtidos no efluente da lagoa de maturação com pH corrigido (T1) - 1140,0 a 1847,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - bem como os do efluente sem correção de pH (T3) - 989,40 a 1887,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - o referido efluente apresentou, segundo a classificação citada por Ayers & Westcot (1991), médio (750 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a elevado (1500 a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) risco de salinidade. Com relação a faixa de valores obtida na água do poço (172,30 a 256,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$), o risco de salinidade foi considerado baixo (valores menores que 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Brito (1997) analisando água de poços em alguns municípios do Maranhão, encontrou valores entre 60 e 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Para evitar que, mediante a classificação quanto à salinidade, o conteúdo excessivo de sais na água de irrigação estudada (efluente da lagoa de maturação) reduza a atividade osmótica da planta, diminuindo a absorção da água e nutrientes do solo, deve-se utilizar culturas tolerantes a sais e os solos devem apresentar um adequado sistema de drenagem; a área do experimento também deve receber volumes maiores de água para possibilitar o arraste dos sais por lixiviação e, assim, evitar o aumento de seus teores no solo irrigado.

Contudo, de acordo com Pair *et al*. (1983), os teores limites de salinidade em águas de irrigação variam conforme o tipo de planta a ser irrigada. Por essa razão, o milho, por ser considerado moderadamente sensível a sais, pode ser cultivado, geralmente, sem necessidade de medidas especiais de controle da salinidade.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio apresentou valores médios de 62,01 mgO_2/L (variação: 38,63 à 90,38 mgO_2/L) e 60,82 mgO_2/L (variação: 39,55 à 101,40 mgO_2/L) para os tratamentos T1 (efluente com pH corrigido) e T3 (efluente sem correção de pH), respectivamente.

É importante ressaltar que a DBO de lagoa facultativa, por ser convertida em DBO formada por algas na lagoa de maturação, se torna fator importante quando se aplica este efluente na agricultura; pois a biomassa algal se constitui em uma rica fonte de matéria orgânica para os microrganismos do solo e de nitrogênio e fósforo para as plantas (BOUWER, 1988 *apud* SANTIAGO 1999). Mediante essa assertiva, efluentes provenientes de lagoas de estabilização são benéficos à agricultura devido ao seu valor nutricional.

Solo

De acordo com os resultados de análise de fertilidade do solo (Tabela 6), este se apresenta, quanto à salinidade, como solo normal. Com relação ao teor de nitrogênio, pôde ser verificado que o solo apresentou quantidade insuficiente para a cultura do milho.

Outra consideração refere-se ao valor de pH que se encontra alcalino (7,9) devido à presença de cálcio e magnésio em grandes quantidades. Com este valor de pH a maioria dos nutrientes encontra-se indisponível para a planta. Ressalta-se que o pH ideal para o milho situa-se na faixa entre 5,5 e 7,0.

A faixa da soma das bases (V) para a cultura do milho encontra-se entre 50 e 80. No caso específico não atende ao exigido pela cultura. Apesar da presença de fósforo, este poderá estar indisponível para a cultura do milho em decorrência do excesso de cálcio e magnésio. O valor da capacidade de troca de cátion (CTC)



caracteriza o solo como de boa fertilidade, porém, o excesso de cálcio e magnésio pode dificultar a obtenção de boas colheitas.

Tabela 6 – Análise da fertilidade do solo.

| PARÂMETRO | UNIDADE | VALOR |
|-----------|-----------------------|--------|
| C | g/kg | 5,16 |
| MO | g/kg | 8,9 |
| pH | - | 7,90 |
| P | mg/dm ³ | 17,00 |
| K | mmolc/dm ³ | 6,20 |
| Ca | mmolc/dm ³ | 450,00 |
| Mg | mmolc/dm ³ | 32,00 |
| Na | mmolc/dm ³ | 6,40 |
| Al | mmolc/dm ³ | ND |
| H + Al | mmolc/dm ³ | 9,10 |
| SB | mmolc/dm ³ | 494,60 |
| CTC | mmolc/dm ³ | 503,70 |
| V | % | 98,00 |
| PST | % | 1,00 |
| M | % | 0,00 |
| CE | dS/m | 0,68 |

Legenda: Extratores: P, Na e K – Mehlich; Ca, Mg e Al – KCl; H + Al – Acetato de cálcio; pH – Água (1:2,5); SB – Soma das bases; CTC – Capacidade de troca de cátions; PST – Percentagem de sódio trocável; m – Percentagem de saturação com alumínio.

Cultura

As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram a fase germinativa, de crescimento, reprodutiva e de colheita da cultura do milho, respectivamente. A colheita do milho foi realizada antecipadamente, com os grãos ainda leitosos (fase de pamonha) em decorrência das espigas estarem sendo subtraídas do plantio.



Figura 2 – Fase germinativa da cultura do milho



Figura 3 – Fase de crescimento da cultura do milho



Figura 4 – Fase reprodutiva da cultura do milho



Figura 5 – Colheita do milho (fase pamonha)

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Quanto à condutividade elétrica, pôde ser constatado que, quanto aos valores obtidos no efluente da lagoa de maturação com pH corrigido (T1) - 1140,0 a 1847,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - bem como os do efluente sem correção de pH (T3) - 989,40 a 1887,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - o referido efluente apresentou risco de salinidade variando de médio a elevado indicando a necessidade de cuidados em relação à drenagem do solo.
- A demanda bioquímica de oxigênio apresentou valores médios de 62,01 mgO_2/L (variação: 38,63 a 90,38 mgO_2/L) e 60,82 mgO_2/L (variação: 39,55 a 101,40 mgO_2/L) para os tratamentos T1 (efluente com pH corrigido) e T3 (efluente sem correção de pH), respectivamente. Todavia é importante ressaltar que a DBO de lagoa facultativa, por ser convertida em DBO formada por algas na lagoa de maturação, se torna fator importante quando se aplica este efluente na agricultura; pois a biomassa algal se constitui em uma rica fonte de matéria orgânica para os microrganismos do solo e de nitrogênio e fósforo para as plantas;
- Com relação à qualidade bacteriológica do efluente da lagoa de maturação para uso na irrigação de culturas de cereais (milho), a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989 – **ver versão 2006**) não estabelece nenhum padrão para CF. Porém, deve ser considerado que a presença de CF indica um risco potencial da existência de microrganismos patogênicos, o que colocaria em risco o grupo exposto constituído por agricultores. No entanto, este problema pode ser solucionado através da utilização de equipamentos de proteção individual como luvas e botas, por parte dos trabalhadores que irão manusear com o efluente e o solo irrigado, bem como condutas associadas à educação sanitária que podem evitar a contaminação.
- Os resultados da análise de fertilidade do solo mostraram que o mesmo é considerado normal quanto à salinidade; alcalino ($\text{pH} = 7,9$) devido à presença de cálcio e magnésio em grandes quantidades, sendo que com este valor de pH a maioria dos nutrientes encontra-se indisponível para a planta; além disso, o solo também apresentou quantidade insuficiente de nitrogênio para a cultura do milho.
- A adoção da prática de reúso poderá contribuir, efetivamente, para: proteger os recursos hídricos; reduzir o consumo de fertilizantes; aumentar a produtividade das culturas, sem aumentar a demanda por água; e criar mais empregos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AYERS, R. S; WESTCOT D. W. A qualidade da água na agricultura. Trad. GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F. de; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1991. Estudos da FAO, 218p. 1985.
2. FEIGIN, A., RAVINA, I; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for enviromental protection. Berlim: Springer Verlag. 1991. 224 p. (Advanced Series in Agricultural Sciences, v. 17).
3. BASTOS, R. K .X.; ANDRADE, C. O. N.; VON SPERLING, M.; BEVILACQUA, P. D. Utilização de Esgotos Tratados em Irrigação – Aspectos Sanitários. In: BASTOS, R. K .X. (Coordenador). “Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura”. Vol. 3, PROSAB. 1º Edição. Belo Horizonte, 2003.
4. BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. (Ed.). Reúso de água. Barueri: Manole, 2003. p. 125-174.
5. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (eds).Reúso de água.Barueri, SP: Manole, 2003. Cap. 3, p 37-95.
6. METCALF, L; EDDY, H. P. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 3ª ed., New York: McGraw-Hill Book Company. 2003. 1819 p.
7. MOTA S.; AQUINO, M, D.; SANTOS, A. B (Organizadores). Reúso de Águas em Irrigação e Piscicultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/ Centro de Tecnologia, 2007.
8. SILVA, D. M. F. da; KHAN, A. S; LIMA, P. V. P. S. Produção de milho híbrido no estado do Ceará: aspectos tecnológicos, competitivos, geração de emprego e renda. RER, Rio de Janeiro, vol. 44, nº 01, p. 119-146, jan/mar 2006 – Impressa em abril 2006.
9. WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: Word Health Organization, 1989.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), pelo apoio na realização deste trabalho.