

MARIA DA CONCEIÇÃO DA COSTA DE ANDRADE VASCONCELOS

**DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA
DOMÉSTICA PRIMÁRIA**

MOSSORÓ-RN

2014

MARIA DA CONCEIÇÃO DA COSTA DE ANDRADE VASCONCELOS

**DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA
DOMÉSTICA PRIMÁRIA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ-RN

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

V331d Vasconcelos, Maria da Conceição da Costa de Andrade.

Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento e produção da cana-de-açúcar com água de residuária doméstica primária / Maria da Conceição da Costa de Andrade Vasconcelos. -- Mossoró, 2014.

74f.: il.

Orientador: Prof. D. Sc. Rafael de Oliveira Batista.

Dissertação (Pós-Graduação em Manejo de solo e água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Agricultura familiar. 2. Reuso. 3. Sustentabilidade. I.
Título.

RN/UFERSA/BCOT /308-14

CDD: 631.587

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

MARIA DA CONCEIÇÃO DA COSTA DE ANDRADE VASCONCELOS

**DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA
DOMÉSTICA PRIMÁRIA**

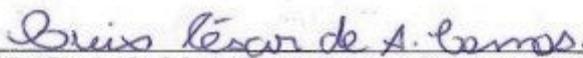
Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

APROVADA EM: 31/01/2014

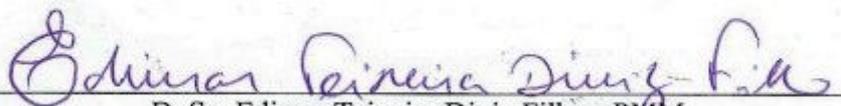
BANCA EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista - UFRSA
Orientador



Prof. D. Sc. Luís César de Aquino Lemos Filho - UFRSA
Conselheiro



D. Sc. Edimar Teixeira Diniz Filho - PMM
Conselheiro

AGRADECIMENTOS

A Deus por está sempre ao meu lado me dando forças e me sustentando em todos os momentos.

Ao Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista pela sua paciência, compreensão e disponibilidade durante o curso de mestrado.

À M. Sc. Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa pela coordenação na coleta dos dados de campo e na realização das análises laboratoriais de água, água residuária e solo.

A todos que fazem parte do projeto de assentamento Milagres, em especial, Sr^a Antonieta, Sr. Zito e Sr. Pedro por todo esforço e ajuda durante o experimento.

Aos meus avós falecidos, José Ferreira de Vasconcelos, Francisco Ferreira de Andrade e Genuína Mendes da Costa, pelo imenso amor dedicado a mim, e em especial a minha avó que não mediu esforços para que eu trilhasse esse caminho. A todos minha eterna gratidão.

Ao povo brasileiro que sustenta a universidade pública.

RESUMO

A inadequação dos sistemas de esgotamento sanitário consiste na principal causa da poluição ambiental e dos problemas de saúde humana, principalmente nas áreas rurais do semiárido. O trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de água residuária doméstica primária no sistema produtivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Para isso, uma área experimental de 744 m² foi montada no assentamento Milagres em Apodi-RN, constituída por um decanto-digestor e um sistema de irrigação por gotejamento automatizado. A de cana-de-açúcar cultivar RB867515 foi plantada em Cambissolo, no espaçamento de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas. Na condução do experimento foram utilizadas 25 parcelas, sendo que cada parcela ocupou 12,5 m². Os tratamentos utilizados foram T1 - 100% de aplicação água residuária doméstica primária (ARP) e 0% de água de poço (AP), T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições. Durante o período experimental foram coletadas amostras da ARP e AP para caracterização físico-química e microbiológica. O desempenho hidráulico das unidades de irrigação por gotejamento foi obtido nos tempos de operação de 0, 42, 84 e 133 horas. No final do ciclo da cana-de-açúcar (153 dias após o plantio) foram coletadas amostras das folhas da cana-de-açúcar e do solo para caracterização microbiológica. Os resultados indicam que os maiores níveis de entupimento de gotejadores foram constatados nos tratamentos T2 e T1. Houve aumento da produtividade da cana-de-açúcar com os incrementos nas proporções de ARP em relação a AP. Sendo a maior produtividade alcançada no tratamento T1, em função do maior aporte de nitrogênio e potássio. Nos tratamentos T1 e T2 ocorreram os maiores riscos microbiológicos tanto nas folhas de cana-de-açúcar quanto no solo irrigado. O tratamento T3 foi o mais indicado para produção da cana-de-açúcar, devido à minimização de efeitos de obstrução de gotejadores, boa produtividade e menor risco microbiológico do produto agrícola.

Palavras-chave: Agricultura familiar, reuso e sustentabilidade.

ABSTRACT

The inadequacy of sewage systems is the main cause of environmental pollution and human health problems, especially in rural areas of the semiarid region. The study aimed to analyze the effects of the primary domestic wastewater on production system the of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). For this, an experimental area of 744 m² was mounted in Assentamento Milagres in Apodi-RN, consisting of a decanting-digester and a system of automated drip irrigation. The sugarcane (RB867515) was planted in Cambisol, spaced 1.0 m between rows of plants per 0.30 m between plants. In conducting the experiment used 25 plots, each plot occupied 12.5 m². The treatments were T1 - 100% of primary domestic wastewater (ARP) and 0% of well water (AP), T2 - 75% of ARP and 25% of AP, T3 - 50% of ARP and 50% of AP, T4 - 25% of ARP and 75% of AP and T5 - 0% of ARP and 100% of AP. The experimental design was randomized blocks with five replications. During the experimental period samples of ARP and AP were collected for physico-chemical and microbiological characterization. The hydraulic unit performance was obtained drip irrigation operation times of 0, 42, 84 and 133 hours. At the end of the cane sugar cycle (153 days after planting) samples from the leaves of cane sugar and soil were collected for microbiological characterization. The results indicated that higher levels of clogged drip emitters were observed in the T2 and T1. There was an increase in the productivity of cane sugar in increments in proportions of ARP compared to AP. Being the largest productivity achieved in T1, due to the higher contribution of nitrogen and potassium. In T1 and T2 the largest microbiological hazards occurred on leaves of cane sugar as the irrigated soil. The T3 treatment was the most suitable for the production of cane sugar, due to the minimization of effects of obstruction of drippers, good productivity and lower risk of microbiological agricultural product.

Key words: Family farming, reuse e sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração dos sistemas de tratamento preliminar (A, B), primário (C, D), secundário (E, F) e terciário (G, H) para efluentes domésticos, sanitários, industriais e agroindustriais.....	9
Figura 2 - Imagem de satélite do Assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN destacando a área experimental	29
Figura 3 - Esquema detalhado da rede condutora de água residuária e água de poço, bem como do sistema de tratamento e reuso de água implantado no assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN	30
Figura 4 - Imagens frontais do decanto-digestor destacando internamente (A) e externamente (B) o tanque séptico e os dois filtros biológicos	31
Figura 5 - Imagens do sistema de irrigação por gotejamento automatizado instalado no assentamento Milagres detalhando o reservatório de água residuária doméstica primária (A), reservatório de água de poço (B), sistemas de recalque dos líquidos (C) e unidades de irrigação por gotejamento (D)	33
Figura 6 - Imagem do gotejador não-autocompensante utilizado no sistema de irrigação para aplicação das proporções de água residuária doméstica primária e água poço.....	34
Figura 7 - Delineamento experimental utilizado na condução dos ensaios experimentais.....	35
Figura 8 - Imagens da cana-de-açúcar cultivada na área experimental.....	36
Figura 9 - Superfície de Resposta da variável dependente CUC em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).	50
Figura 10 - Superfície de resposta da variável dependente CUD em relação às variáveis independentes proporções de água residuária de origem doméstica (P) e tempo de funcionamento (T).	52
Figura 11 - Superfície de resposta da variável dependente CVQ em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).	53
Figura 12 - Superfície de resposta da variável dependente Q em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).	55

Figura 13 - Valores médios da produtividade da cana-de-açúcar em função das proporções de água residuária doméstica e água de poço 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das águas em doces, salobras e salinas	12
Tabela 2 - Subdivisão da Classe 3 para águas doces.....	13
Tabela 3 - Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos	14
Tabela 4 - Valores orientadores para disposição dos resíduos em solos e em águas subterrâneas	16
Tabela 5 - Valores orientados para reuso de efluentes de origem doméstica em atividades agrônômicas.....	17
Tabela 6 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias que representam risco de obstrução de gotejadores.....	22
Tabela 7 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação a água residuária de origem doméstica.....	29
Tabela 8 - Lâminas brutas acumuladas no período de 153 dias de aplicação das proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP)	37
Tabela 9 - Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de quatro amostragens de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP) realizado no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012	42
Tabela 10 - Aporte de nutrientes aplicados ao solo cultivado com cana-de-açúcar.....	49
Tabela 11 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes presentes nas folhas da cana-de-açúcar coletadas nas parcelas sob distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas	57
Tabela 12 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes presentes na camada superficial do solo (0 a 0,20 m) submetido as distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas cultivadas cana-de-açúcar.....	58
Tabela 13 - Valores médios do nível populacional de ovos de helmintos presentes na camada superficial do solo (0 a 0,20 m) submetido as distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas cultivadas cana-de-açúcar.....	59
Tabela 14 - Custos de produção da cana-de-açúcar em Apodi-RN, no sistema convencional e com água residuária doméstica.....	60

Tabela 15 - Análise de variância dos valores de Q, CVQ, CUD e CUC no esquema de parcelas subdivididas no delineamento em blocos casualizados 74

Tabela 16 - Análise de variância da produtividade da cana-de-açúcar no delineamento em blocos casualizados 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AP - Água de Poço
- ARP - Água Residuária Doméstica Primária
- CE - Condutividade Elétrica
- CF - Coliformes Termotolerantes
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COT - Carbono Orgânico Total
- CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
- CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
- CVQ - Coeficiente de Variação de Vazão
- CT - Coliformes Totais
- CTe - Coliformes Termotolerantes
- DAP - Dias Após o Transplântio
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO - Demanda Química de Oxigênio
- dS - Decisimems
- FAO - Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
- pH - Potencial Hidrogeniônico
- MS - Ministério da Saúde
- NR - Não realizado
- N_{total} - Nitrogênio Total
- NMP - Número Mais Provável
- NO_3^- - Nitrato
- P_{total} - Fósforo Total
- SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente do estado do Ceará
- SD - Sólidos Dissolvidos
- SS - Sólidos Suspensos
- SST - Sólidos Suspensos Totais
- ST - Sólidos Totais
- TB - Turbidez

UFC - Unidades Formadoras de Colônias

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez

VI - Valores de investigação

VP - Valores de prevenção

VRQs - Valores orientadores de referência de qualidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 ESCASSEZ HÍDRICA	3
2.2 PROBLEMAS DO ESGOTAMENTO HÍDRICO	4
2.2.1 Esgotamento sanitário na cidade de Apodi-RN.....	6
2.3 TÉCNICA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	7
2.3.1 Decanto-digestor	10
2.4 LEGISLAÇÃO PARA O LANÇAMENTO DE RESÍDUOS NO AMBIENTE	11
2.5 IMPORTÂNCIA DO REUSO	19
2.6 DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS	21
2.7 IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	23
2.8 PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.) COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 HISTÓRICO DO PROJETO DE ASSENTAMENTO MILAGRES	27
3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E SUA LOCALIZAÇÃO	28
3.2.1 Descrição do decanto-digestor	31
3.2.2 Sistema de reuso de água implantado no assentamento Milagres	32
3.3 TRATAMENTO E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO	34
3.4 PLANTIO E IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	35
3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E DA ÁGUA DE POÇO.....	38
3.6 MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	38

3.7 PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	40
3.8 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DAS FOLHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	40
3.9 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E DA ÁGUA DE POÇO	42
4.2 APORTE DE NUTRIENTES DAS PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO	48
4.3 DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO	50
4.4 PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO	56
4.5 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DAS FOLHAS DA CANA-DE-AÇÚCAR PRODUZIDAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO	57
4.6 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DE SOLO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO	58
4.7 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM RELAÇÃO AO MÉTODO CONVENCIONAL	59
5 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE	74

1 INTRODUÇÃO

Diante da escassez de água na região semiárida brasileira, onde se constata condições socioeconômicas desfavoráveis e inadequação e inexistência dos serviços de água potável e, sobretudo, de esgotamento sanitário, o uso de águas residuárias torna-se uma alternativa promissora tanto para melhoria da qualidade de vida das populações urbanas e rurais quanto da produção agrícola pelo reuso da água e aproveitamento dos nutrientes.

O reuso de água para fins não potáveis é caracterizado pela utilização de águas residuárias domésticas tratadas para suprir necessidades diversas que admitem qualidade inferior à potável. Assim, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto com o público (Hespanhol, 2008).

Segundo Léon Suematsu & Cavallini (1999), a utilização de águas residuárias tratadas como fonte de nutrientes, traz benefícios ao meio ambiente e ao produtor rural, propiciando redução nos custos com água e aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas devido a melhoria da qualidade do solo pela incorporação de matéria orgânica.

O método de irrigação localizada é mais recomendado para aplicação de águas residuárias, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação dos trabalhadores e do produto agrícola. No entanto, os sistemas de irrigação por gotejamento apresentam alta susceptibilidade ao entupimento de emissores, particularmente quando operam com águas residuárias em função da formação de biofilme¹.

O entupimento de gotejadores prejudica o funcionamento geral do sistema de irrigação, afetando as suas características de operação e exigindo manutenções mais frequentes. Geralmente, a obstrução reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de efluente.

A inserção da cultura da cana-de-açúcar irrigada com água residuária doméstica tratada pode ser uma opção para a agricultura familiar, propiciando fonte de renda, gerando mão de obra e matéria prima para alimentação de pequenas criações, já

¹ Conglomeração de bactérias, fungos, algas, protozoários, resíduos ou produtos de corrosão aderidos em uma matriz auto-produzida e secretada de substâncias poliméricas extracelulares tais como polissacarídeos, proteínas, ácidos nucléicos e lipídeos (Batista et al., 2009).

que a mesma possui elevado teor de sacarose e alta produção de matéria seca, tornando-se uma alternativa em épocas do ano, em que as pastagens são escassas devido às secas prolongadas, como no semiárido brasileiro.

Diante o exposto, o presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de água residuária doméstica primária no desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento e na produção da cana-de-açúcar em assentamento da Chapada do Apodi em Apodi-RN. Como objetivos específicos buscaram-se: a) analisar a vazão, o coeficiente de variação de vazão e a uniformidade de aplicação de efluente em sistemas de irrigação operando com proporções de água residuária doméstica tratada e água de poço; e b) obter a produtividade e o risco microbiológico da cana-de-açúcar irrigada com diferentes proporções de água residuária doméstica primária e água de poço.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESCASSEZ HÍDRICA

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência do homem, vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas, contribuindo para o desenvolvimento econômico e com a qualidade de vida das populações (BRASIL, 2012).

O Brasil é o maior detentor mundial de água potável respondendo por 18% do potencial de água de superfície do planeta (Soares et al., 2006), porém isso não significa que não existe preocupação com a escassez de água, pois a grande variabilidade de climas existentes no país promove uma distribuição irregular dos recursos hídricos disponíveis. Os estados do Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima e uma parcela do Pará e Mato Grosso concentram mais de 80% da disponibilidade de água, correspondendo a apenas 45% do território nacional (BRASIL, 2010a). Em situação oposta, as maiores densidades populacionais do país encontram-se no outros 55% do território nacional que concentram apenas 20% dos recursos hídricos (BRASIL, 2010a).

As principais fontes de suprimento de água de uma população são: águas superficiais, que são encontradas nos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica e águas subterrâneas, que são reservatórios subterrâneos chamados de aquíferos, considerada a maior reserva de água doce do planeta (BRASIL, 2012).

Existem diversas e numerosas formas de usos da água, o que vem contribuindo para sua escassez e contaminação. Dentre os fatores que podem contribuir com a escassez estão: o aumento da população, o elevado grau de degradação da vegetação resultando no menor aproveitamento das precipitações pluviométricas, exploração excessiva dos aquíferos e o crescente dano por contaminação da qualidade da água (Almeida, 2010).

A escassez hídrica configura-se como um enorme problema socioambiental, para os municípios do semiárido brasileiro, devido à seca, causada por fatores como o baixo índice pluviométrico e a irregularidade da distribuição da precipitação pluviométrica (Carvalho & Adolfo, 2012). Nessa região, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (Braga et al., 2005).

O nordeste possui apenas 3% de toda a água doce do país (Marengo, 2008). Diante disso, entidades gestoras de recursos hídricos procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar a água ainda disponível (Braga et al., 2005).

2.2 PROBLEMAS DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

À medida que as cidades se desenvolvem, surge um problema que envolve duas atividades conflitantes, o aumento da demanda hídrica de boa qualidade e a degradação dos mananciais por meio da contaminação por resíduos urbanos, industriais e agrícolas. Com esse crescimento, as redes de distribuição de água se estendem e o consumo aumenta, tanto pela população como pelo comércio e pelas indústrias locais que necessitam expandir os níveis de produção (Kobiyama et al., 2008). Todos os empreendimentos envolvidos nesse processo geram contaminantes de elevado potencial poluidor.

A tendência do desenvolvimento urbano é poluir e contaminar as águas superficiais e subterrâneas com resíduos, inviabilizando o manancial e exigindo a captação de água de áreas mais distantes da zona urbana, ou o uso de tratamento de água e esgoto mais intensivo e avançado. No Brasil, todos os dias são lançados no ambiente 10 bilhões de litros de esgoto, resíduos sólidos não reciclados, agrotóxicos, fertilizantes aplicados incorretamente, rejeitos industriais entre outros, contribuindo para a contaminação das águas subterrâneas (Luz, 2005). Os aquíferos, apesar de estarem mais protegidos, quando contaminados, apresentam autodepuração² muito lenta em relação aos corpos hídricos superficiais (Kobiyama et al., 2008).

No Brasil, apenas 55% dos municípios possuem rede de coleta de esgoto sanitário e desse total, somente 29% possuem sistema de tratamento de esgoto sanitário, sendo os indicadores mais desfavoráveis encontrados na região norte com apenas 13% e 8% para coleta e tratamento de esgoto (IBGE, 2010).

Na Região Nordeste, os estados com maior cobertura por rede coletora de esgoto sanitário são Pernambuco, Paraíba e Ceará, com 88%, 73% e 70%, respectivamente. Enquanto, os indicadores mais desfavoráveis foram registrados nos

² Capacidade dos corpos hídricos restabelecerem o equilíbrio do meio aquático por meio de mecanismos naturais após as alterações provocadas pelos resíduos (von Sperling, 2011).

estados do Piauí e Maranhão com 96% e 94%, respectivamente, desses municípios sem rede de esgoto (IBGE, 2010). Essa situação é mais desfavorável nas áreas rurais, onde 77% da população não têm acesso ao esgotamento sanitário adequado (PNUD, 2010).

A falta de saneamento básico promove situações de vulnerabilidade socioambiental, sobretudo em áreas ocupadas por segmentos sociais mais pobres, como áreas rurais, onde a contaminação dos recursos hídricos pode trazer consequências generalizadas sobre a saúde da população. Com isso, causa o aumento das desigualdades sociais, além de afrontar os direitos fundamentais sociais constitucionais e à dignidade da pessoa humana (Carvalho & Adolfo, 2012).

Como consequência da falta de saneamento, podem ocorrer problemas de saúde pública causados tanto por ingestão de alimentos provenientes das águas contaminadas, como pelo contato direto com esta água, que pode veicular agentes nocivos a saúde. De acordo com o Ministério da Saúde, a água pode afetar a saúde do homem de várias maneiras: através da ingestão direta, na preparação de alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na higiene do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer (BRASIL, 2004). As principais doenças causadas pela água, chamadas de doenças de veiculação hídricas são: diarreias, hepatite, cólera, parasitoses intestinais, febre tifóide, entre outras (Teixeira & Guilhermino, 2006). Essas são doenças típicas de regiões pobres, com pouca infraestrutura, localizada nas áreas rurais ou nas periferias das grandes cidades, onde praticamente não existe investimentos públicos no que se refere a saúde, educação e saneamento básico. Segundo a FUNASA, doenças resultantes da falta ou de um inadequado sistema de saneamento, especialmente em áreas pobres, têm agravado o quadro epidemiológico (BRASIL, 2006).

Nessas áreas, a situação se agrava pelo fato dos dejetos humanos e de animais serem lançados a céu aberto, tornando-se constantes fontes de poluição, além de atrair insetos ou animais que também são vetores de doenças. Avalia-se que cerca de 70% dos leitos dos hospitais estão ocupados por pessoas que contraíram doenças transmitidas pela água (Araújo Júnior, 2004).

O comprometimento da qualidade da água para fins de abastecimento humano é decorrente de poluição causada por diversas fontes, tais como efluentes domésticos, industrial e agrícola, causando, também, outras doenças menos comuns denominadas de origem hídrica que incluem as cáries dentárias, fluorose (falta de flúor), saturnismo (intoxicação por chumbo) e metahemoglobina (excesso de nitrato) (Larsen, 2010).

Dentre os principais contaminantes da água, destacam-se os biológicos que englobam as bactérias, os vírus, os protozoários e vermes. As bactérias patogênicas encontradas na água e, ou alimentos constituem uma das principais fontes de morbidade e mortalidade da população sem acesso ao saneamento básico (BRASIL, 2004). Um dos principais indicadores de contaminação de corpos hídricos consiste na identificação e quantificação dos coliformes termotolerantes, encontradas em fezes humanas e de animais homeotérmicos³.

Além da contaminação biológica, a água pode conter outros contaminantes como partículas de solos arrastadas pelo escoamento superficial, nutrientes presentes na superfície do solo (Resende, 2002). Ainda, no que diz respeito aos contaminantes, Bertocini (2008) relatou que as argilas suspensas, a matéria orgânica, os patógenos originados de fossas sépticas, os agrotóxicos e fertilizantes utilizados nas culturas agrícolas, são os principais responsáveis pela degradação ambiental nas áreas rurais.

Dependendo da origem, o esgoto sanitário, pode conter, também, agentes químicos, de toxicidade relevante e outros de padrão de ocorrência e riscos à saúde, ainda, pouco conhecidos, chamados de químicos emergentes, como os disruptores endócrinos e os resíduos farmacêuticos (Florencio et al., 2006). Quando se trata de água subterrânea, a maior preocupação é com o nitrato, que pode contaminar o lençol freático e conseqüentemente as águas utilizadas no abastecimento público, tendo em vista que no estado do Rio Grande do Norte, quase metade da água de abastecimento é retirada de poços, cerca de 46% (IBGE, 2010). Os resíduos líquidos que percolam das fossas rudimentares para o solo contém nitrogênio, que é convertido em nitrato, podendo contaminar a água subterrânea (Mota & von Sperling, 2009), sendo este um dos principais problemas da água subterrânea em Natal capital do Estado do Rio grande do Norte.

2.2.1 Esgotamento sanitário na cidade de Apodi-RN

O município de Apodi situa-se na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Chapada do Apodi, sua população atual é estimada em 40.404 habitantes

³ Os animais homeotérmicos também são conhecidos como animais de sangue quente, como as aves e os mamíferos (BRASIL, 2004).

(IBGE, 2011). Em 2010, 59,7% dos moradores tinham acesso à rede de água geral com canalização em pelo menos um cômodo e 10,5% possuíam formas de esgotamento sanitário considerado adequado (IBGE, 2010). De acordo com o Atlas de saneamento do IBGE, as diarreias são as principais causas de internações entre doenças transmitida pela falta de saneamento básico (IBGE, 2011). A maioria dos casos ocorreu entre as crianças e os idosos, pertencentes aos grupos mais vulneráveis.

De acordo com Censo 2010, a taxa de mortalidade de menores de um ano para o município, foi de 24,2 para cada 1.000 crianças menores de um ano (IBGE, 2011). No município, entre 2001 e 2011, houveram 345 casos de doenças transmitidas por mosquitos, dentre os quais nenhum caso confirmado de malária, nenhum caso confirmado de febre amarela, um caso confirmado de leishmaniose, 344 notificações de dengue (BRASIL, 2010b). A taxa de mortalidade proporcional para a faixa etária de 50 a 64 anos atingiu 8,3% para doenças infecciosas e parasitárias, segundo dados do Ministério da Saúde para esse município (BRASIL, 2010b).

Quanto à água potável, tem-se 4.530 domicílios abastecidos por meio de rede geral de abastecimento público, 1.521 através de poço ou nascente e 2.347 por outras fontes, como por exemplo a captação da água pluvial. Existem apenas 11 domicílios ligados à rede geral de coleta de esgotos domésticos (IBGE, 2010).

2.3 TÉCNICAS DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O lançamento de esgoto doméstico sem tratamento em corpos hídricos altera as características naturais da água, a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias e agroindustriais (Ribas & Fortes Neto, 2008). Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento, apenas 19% dos municípios nordestinos realizam tratamento dos esgotos sanitários e domésticos (IBGE, 2010).

Uma das causas desses baixos índices são as técnicas tradicionais de tratamento de esgoto que apresentam um alto custo, tanto de implantação como manutenção, se fazendo necessária a utilização de métodos alternativos que minimizem os custos e que garantam desempenho adequado aos sistemas de tratamento. Como alternativa a essa situação, Tonetti et al. (2005) sugere o desenvolvimento de sistemas de tratamento mais simples, eficientes e adaptáveis às condições econômicas e

estruturais dos municípios brasileiros. Batista et al. (2011), complementa que as tecnologias utilizadas pelas companhias de saneamento tornam-se inviáveis para comunidades rurais de baixa renda, pelo alto custo de implantação e manutenção e pela grande dispersão populacional nessas áreas. Segundo Silva & Nour (2005), pouca atenção é dada as comunidades rurais que, individualmente não produzem muitos compostos poluidores, mas considerando a sua totalidade representam um montante considerável, e são lançados de forma dispersa e sem o devido tratamento no ambiente.

De acordo com Daltro Filho (2004), os tratamentos de esgotos domésticos são classificados pela forma de eliminação dos contaminantes, empregando processos físicos, químicos e biológicos e por meio do nível de depuração, utilizando sistemas preliminar, primário, secundário e terciário. von Sperling (2011) acrescenta que os aspectos mais importantes na seleção de sistemas de tratamento são a eficiência, a confiabilidade, os requisitos de área, os impactos ambientais, os custos de operação, os custos de implantação, a sustentabilidade e a simplicidade.

O processo de tratamento dos efluentes pode adotar diferentes tecnologias de depuração, mas, de modo geral segue um fluxo que compreende as seguintes etapas:

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros (von Sperling, 2011). Serve essencialmente para preparar os efluentes para o tratamento subsequente, removendo partículas grandes e areia para proteger as demais unidades de tratamento, nessa classe encontram-se as grades e os desarenadores⁴ (Figuras 1A e 1B).

O nível seguinte é o de tratamento primário, que visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, predominando o uso de mecanismos físicos (von Sperling, 2011). Os esgotos domésticos escoam vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Nesta classe situam-se decantadores primários e tanques de flotação (Jordão & Pêsoa, 2009) (Figuras 1C e 1D).

⁴ Dispositivo presente nas estações de tratamento de efluentes urbanos, industriais ou agroindustriais com o propósito de separar os resíduos mais grosseiros do meio líquido (Matos, 2007).

A**B****C****D****E****F****G****H**

Fonte: Loures et al. (2006), Matos (2007), Jordão & Pêsoa (2009) e von Sperling (2011).
Figura 1 - Ilustração dos sistemas de tratamento preliminar (A, B), primário (C, D), secundário (E, F) e terciário (G, H) para efluentes domésticos, sanitários, industriais e agroindustriais.

Existe também o tratamento secundário, onde predominam mecanismos biológicos, com objetivo principal de remoção de matéria orgânica e de nutrientes como nitrogênio e fósforo (von Sperling, 2011), e consistem na conversão da matéria orgânica biodegradável em biomassa, por ação de microrganismos. Nesta categoria, estão presentes os reatores de lodos ativados e lagoas de estabilização (Matos, 2007) (Figuras 1E e 1F).

Por último, tem-se o tratamento terciário, objetivando a remoção de poluentes específicos, usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário (von Sperling, 2011). São mais comuns em estações que necessitem um alto grau de tratamento do efluente final e situam-se nesse nível os cloradores e lagoas de maturação (Figuras 1G e 1H).

Segundo Jordão & Pessoa (2009), também existe a classificação dos processos de tratamento em físicos, químicos e biológicos: a) Físicos: predominância de atividades de decantação, filtração e diluição; b) Químicos: quando existe a adição de produtos químicos; e c) Biológicos: quando ocorre a ação de microrganismos.

Para van Haandel & Lettinga (1994) o objetivo do tratamento de esgoto é eliminar características indesejáveis, sendo a eficiência do sistema de tratamento avaliada pela diminuição e, ou remoção de pelo menos uma pequena parte dos poluidores. Esses tratamentos representam o modelo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, consumindo o mínimo de recursos, buscando o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado no ambiente.

2.3.1 Decanto-digestor

Nas áreas rurais a forma mais comum de destinação do esgoto doméstico produzido nas residências são as fossas rudimentares, que devido ao tratamento inadequado, proporciona a contaminação dos mananciais hídricos. Nesse sentido, destacam-se novas tecnologias capazes de melhorar a qualidade de vida no campo com sistemas simples e de baixo custo que vem sendo testadas em comunidades rurais do Estado do Rio Grande do Norte. Um sistema que associa decanto-digestor e filtro anaeróbios de fluxo ascendente e descendente, em um arranjo compacto, que foi

desenvolvido e continua a ser estudado em universidades como a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e a Universidade Federal Rural do Semiárido.

O sistema objetiva a remoção de sólidos suspensos decantáveis, como areia, óleos e graxas, efetuando o tratamento preliminar/primário (Lemos, 2011). Além disso, visa o desenvolvimento de pesquisas tendo em vista a aplicabilidade do reuso de água na irrigação de espécies não comestíveis. Esse sistema é constituído de um tanque séptico retangular, com duas câmaras em série separadas por uma parede janelada, um pequeno filtro de pedras de fluxo ascendente acoplado ao tanque séptico com comunicação direta, e dois filtros anaeróbios, que ladeiam o tanque séptico. Nos filtros o esgoto doméstico é distribuído e coletado por meio de tubos perfurados, colocados sobre e sob o leito de tijolos cerâmicos, com o objetivo de remover a matéria orgânica dissolvida, complementando o tratamento, pela da ação biológica anaeróbia. Lemos (2011) constatou que o sistema alterou as características físicas e químicas do esgoto doméstico, com reduções significantes nos valores de turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), fósforo e óleos e graxas. Segundo von Sperling (2011), esse tratamento possui uma eficiência que varia entre 40 e 70% na remoção da DBO ou DQO⁵ de oxigênio de 50 a 80% na remoção dos SS.

Sistemas aeróbicos de tratamento de esgoto domésticos são bem mais eficientes quando comparados com anaeróbicos, porém em climas quentes como no semiárido, os processos anaeróbios são mais adequados, pois evitam o processo de nitrificação (von Sperling, 2011).

2.4 LEGISLAÇÃO PARA O LANÇAMENTO DE RESÍDUOS NO AMBIENTE

Desde a década de 1970, quando surgiram no Brasil às primeiras legislações estaduais de poluição das águas, os padrões de emissão de poluentes sempre foram os mesmos para qualquer tipo de fonte de poluição. O controle dos recursos hídricos e do lançamento de efluentes no Brasil teve início na década de 70, juntamente com a maior

⁵ DBO indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica biodegradável presente na água, enquanto que a DQO indica a quantidade de oxigênio exigida para oxidação química completa da matéria oxidável total presente nas águas, orgânica e inorgânica (Matos, 2007).

parte da legislação voltada à proteção ambiental. Especificamente sobre o tema, em 1986 foi editada a Resolução CONAMA nº 20/1986, que tratava da classificação e enquadramento dos corpos hídricos no Brasil (BRASIL, 1986).

A Resolução CONAMA nº 20/1986 define o enquadramento dos corpos hídricos segundo classes de usos preponderantes, padrões de qualidade e outras disposições relativas ao lançamento de poluentes em corpos de água. Mas em consequência do aumento da demanda por recursos hídricos, surgiu um novo desafio, exigindo o aprimoramento da gestão ambiental não somente prevenir e controlar a poluição a fim de manter a qualidade ambiental, em conformidade com os padrões ambientais, mas também garantir a manutenção e o aumento da disponibilidade hídrica.

Em julho de 2002 o CONAMA, criou Grupo de Trabalho para iniciar, o processo de revisão, resultando na publicação da Resolução CONAMA nº 357 em 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água superficiais e sobre diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes em corpos hídricos (BRASIL, 2005a). Quando os efluentes são lançados em corpos hídricos, não podem causar efeitos tóxicos aos organismos presentes.

O CONAMA nº 357/2005, classificou as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes, em treze qualidades, sendo as águas doces classificadas em cinco classes, as águas salobras e as salinas em quatro classes (BRASIL, 2005a), conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Classificação das águas em doces, salobras e salinas

Águas			
Classes	Doces ($\leq 0,5\%$)	Salobras (0,5 a 30%)	Salinas ($\geq 30\%$)
	Especial	Especial	Especial
	Classe 1	Classe 1	Classe 1
	Classe 2	Classe 2	Classe 2
	Classe 3	Classe 3	Classe 3
	Classe 4		

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005a).

Tabela 2 - Subdivisão da Classe 3 para águas doces

Águas Doces	
Classe 3	Destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento Destinadas à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Destinadas à pesca amadora; Destinadas à recreação de contato secundário; Destinadas à dessedentação de animais.

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005a).

O estabelecimento do grau de qualidade (classe) de um segmento de corpo hídrico, ao longo do tempo, deve estar baseado em diagnósticos regionais, considerando-se dados socioeconômicos, uso do solo e usos pretendidos dos recursos hídricos, de modo a assegurar seus usos preponderantes (CETESB, 2008).

Apesar do amplo processo de discussão a que foi submetido o conteúdo disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005, algumas questões ficaram pendentes, tendo sido, inclusive, prevista, no art. 44 da Resolução nº 357/2005, a necessidade de complementação das condições e padrões de lançamentos de efluentes definidos na mesma. A resolução não estabeleceu, por exemplo, os critérios de toxicidade dos efluentes de cada Estado, cabendo ao órgão ambiental estadual competente estabelecer os critérios de toxicidade dos efluentes. Para complementar essa resolução, como também o previsto no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008, a Resolução CONAMA nº 410/2009 prorrogou o prazo para as devidas complementação das condições e padrões de lançamentos de efluentes, por mais seis meses a partir da data de publicação da referida Resolução (BRASIL, 2009a).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre os parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, complementando e alterando a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2011b), como apresentado na Tabela 3. Essa Resolução determina que efluentes só poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores, após o devido tratamento, e seguindo as novas orientações legais; porém, na Resolução CONAMA nº 357/2005 foram mantidas as disposições anteriores no que diz respeito à classificação e enquadramento dos corpos hídricos para águas doces, salobras e salinas.

A Resolução nº 430/2011 buscou aprimorar os parâmetros e mecanismos de gestão de efluentes líquidos e conservação da qualidade das águas, de modo a garantir os seus usos múltiplos. A mesma indica, ainda, que suas determinações devem ser

observadas quando se verificar a inexistência de legislação ou normas específicas, de disposições do órgão ambiental competente e de diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário (BRASIL, 2011b).

Tabela 3 - Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg L ⁻¹ As
Bário total	5,0 mg L ⁻¹ Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg L ⁻¹ B
Cádmio total	0,2 mg L ⁻¹ Cd
Chumbo total	0,5 mg L ⁻¹ Pb
Cianeto total	0,5 mg L ⁻¹ Pb
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg L ⁻¹ CN
Cobre dissolvido	1,0 mg L ⁻¹ Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg L ⁻¹ Cr ⁺⁶
Cromo trivalente	1,0 mg L ⁻¹ Cr ⁺³
Estanho total	4,0 mg L ⁻¹ Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg L ⁻¹ Fe
Fluoreto total	10,0 mg L ⁻¹ F
Manganês dissolvido	1,0 mg L ⁻¹ Mn
Mercurio total	0,01 mg L ⁻¹ Hg
Níquel total	2,0 mg L ⁻¹ Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg L ⁻¹ N
Prata total	0,1 mg L ⁻¹ Ag
Selênio total	0,30 mg L ⁻¹ Se
Sulfeto	1,0 mg L ⁻¹ S
Zinco total	5,0 mg L ⁻¹ Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg L ⁻¹
Clorofórmio	1,0 mg L ⁻¹
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg L ⁻¹
Estireno	0,07 mg L ⁻¹
Etilbenzeno	0,84 mg L ⁻¹
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg L ⁻¹ C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg L ⁻¹
Tricloroeteno	1,0 mg L ⁻¹
Tolueno	1,2 mg L ⁻¹
Xileno	1,6 mg L ⁻¹

Fonte: Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011b).

A nova resolução incluiu novas definições como, por exemplo, fator de toxicidade e testes de ecotoxicidade. Neste sentido, as exigências para o monitoramento dos efluentes mediante a utilização de ensaios de toxicidade passam a vigorar em todos

os estados brasileiros. Esta Resolução representa um avanço da legislação ao incluir orientações para análise da capacidade de suporte do corpo receptor em receber efluentes, bem como o detalhamento do processo de avaliação da ecotoxicidade dos efluentes e das ações de gestão necessárias ao seu controle (BRASIL, 2011b).

Como pontos de destaque desta nova legislação pode-se considerar a fixação, a nível federal, de valores de remoção (60%) para Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) de efluentes e no caso do esgoto sanitário a determinação do valor máximo de 120 mg L^{-1} como limite de lançamento de $DBO_{5,20}$ em corpos hídricos receptores (Rocha, 2011).

A resolução estabelece, ainda, no caso de lançamento, o efluente não poderá alterar a classe do corpo receptor, ou seja, se o corpo estiver enquadrado na Classe II, conforme estabelecido na resolução CONAMA nº 357/05, após receber a carga poluidora, o mesmo em hipótese alguma poderá passar para Classe III (BRASIL, 2011b). Os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o monitoramento, para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados.

A resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e águas subterrâneas quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (BRASIL, 2009b), conforme apresentado na Tabela 4. Os valores orientadores são valores pré-estabelecidos que permitam determinar a ausência de contaminação ou conhecer o seu nível.

Esta resolução estabelece três valores orientadores distintos, que são eles, valores orientadores de referência de qualidade (VRQs), de prevenção (VP) e de investigação (VI):

a) O valor de referência de qualidade indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo ou a qualidade natural das águas subterrâneas a ser utilizada em ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas (BRASIL, 2009b);

b) O valor de prevenção, correspondente à concentração do valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar suas funções principais (BRASIL, 2009b); e

Tabela 4 - Valores orientados para disposição dos resíduos em solos e em águas subterrâneas.

Substâncias	Prevenção de solo (mg k ⁻¹ de peso seco)	Investigação de solo agrícola (mg k ⁻¹ de peso seco)	Investigação de água subterrânea (µg L ⁻¹)
Inorgânicos			
Alumínio	-	-	3.500**
Antimônio	2	5	5*
Arsênio	15	35	10*
Bário	150	300	700*
Boro	-	-	500*
Cádmio	1,3	3	5*
Chumbo	72	180	10*
Cobalto	25	35	70*
Cobre	60	200	2.000*
Cromo	75	150	50*
Ferro	-	-	2.450**
Manganês	-	-	400**
Merúrio	0,5	12	1*
Molibdênio	30	50	70
Níquel	30	70	20
Nitrato (como N)	-	-	10.000*
Prata	2	25	50
Selênio	5	-	10*
Vanádio	-	-	-
Zinco	300	450	1.050*
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis			
Benzeno	0,03	0,06	5*
Estireno	0,2	15	20*
Etilbenzeno	6,2	35	300**
Tolueno	0,14	30	700**
Xilenos	0,13	25	500**

Fonte: Resolução CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009b).

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde.

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/2008.

c) O valor de investigação indica a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, a saúde humana, considerando um cenário de exposição (BRASIL, 2009b).

A Resolução nº 420/2009 do CONAMA visa à prevenção da contaminação do solo e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Para Scherr e Yadav (1996), muitas formas de degradação podem ser remediadas pela reconstrução

cuidadosa da saúde do solo. De acordo com essa Resolução, o gerenciamento de áreas contaminadas deverá conter ações voltadas para eliminar ou reduzir o risco a saúde e ao meio ambiente observando os seguintes aspectos: planejamento de uso e ocupação do solo visando demonstrar uso declarado ou futuro da área; procedimentos de investigação de áreas suspeitas de contaminação, que serão submetidas a uma avaliação preliminar para aferir a qualidade do solo; ações de controle e fiscalização (BRASIL, 2009b).

No Estado do Ceará, os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras são discorridos pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), na Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002. A Portaria dispõe sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Também, estabelece que não é permitido o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora diretamente em corpos hídricos sem o devido tratamento (CEARÁ, 2002).

Segundo a Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002), qualquer fonte poluidora que estiver instalada em áreas dotadas do sistema de esgotamento sanitário, sem tratamento, deve ter estação de tratamento própria, e que atenda aos padrões de lançamento estabelecidos em função da sua classe, para que assim possa ser lançado no corpo receptor. Nesta Portaria, são estabelecidos, também, os padrões para a reutilização de efluentes, mas, somente de origem doméstica, para uso em irrigação e drenagem, dessedentação de animais, aquicultura e outras. A portaria em questão não faz referência a limites de nitrato e fósforo para reuso de água, estabelecendo padrões, apenas, para coliformes termotolerantes, ovos de helmintos e condutividade elétrica.

Tabela 5 - Valores orientadores para reuso de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas.

Atividade Tipo 1	
Características	Valores
Coliformes termotolerantes (CF)	< 1000 CF 100 mL ⁻¹
Ovos de helmintos	< 1 ovo L ⁻¹ de amostra
Condutividade Elétrica	< 3,0 dS m ⁻¹
Atividade Tipo 2	
Características	Valores
Coliformes termotolerantes (CF)	< 5000 CF 100 mL ⁻¹
Ovos de helmintos	< 1 ovo L ⁻¹ de amostra
Condutividade Elétrica	< 3,0 dS m ⁻¹

Fonte: Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002).

A Lei Complementar nº 31 de 24 de novembro de 1982, institui o Código Estadual de Saúde e estabelece normas básicas sobre promoção, proteção e recuperação da saúde (RIO GRANDE DO NORTE, 1982). Em seu artigo 46, prevê que águas residuárias de qualquer natureza, que promovam alteração da composição dos corpos hídricos receptores, devidos as suas características físicas, químicas ou biológicas, deverão sofrer tratamento prévio (RIO GRANDE DO NORTE, 1982). Ressalta, ainda, que o lançamento de águas residuárias só será permitido quando não prejudique a saúde humana e a ecologia, processo regulamentado pelo CONAMA nº 357 de 2005, que dentre outras normas, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos (BRASIL, 2005b).

No artigo 51, ressalta que não é permitida a utilização de água poluída em hortas, pomares e áreas de irrigação (RIO GRANDE DO NORTE, 1982), porém não discute a utilização de águas residuárias tratadas para utilização nas atividades anteriormente citadas. Trata-se de uma lei antiga, considerando-se que só recentemente a utilização de reuso de água vem sendo incorporada no Brasil, porém tem ganhado cada vez mais espaço, pois de acordo com Léon Suematsu & Cavallini (1999), as águas residuárias já são utilizadas para irrigação de grandes quantidades de culturas, havendo forte pressão para que novas culturas possam ser incorporadas em áreas irrigadas por efluentes tratados.

É necessário que os órgãos governamentais, gestores dos recursos hídricos procurem se informar sobre a prática de reuso, criando bases legais para a reutilização da água para fins não potáveis. O Brasil possui atualmente uma única legislação que trata do reuso não potável, a Resolução n.º 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direito não potável (BRASIL, 2005a). O principal uso das águas residuárias tratadas são para fins não potáveis, lavagens de ruas, recarga do lençol freático, irrigação e até mesmo sua utilização em ambiente onde se manipula alimentos, em determinadas condições.

Em 1993, o Ministério da Saúde publicou a Portaria nº 1428, recomendando a elaboração de um manual de boas práticas para a manipulação de alimentos, visando melhorar as condições de higiene na preparação de alimentos (BRASIL, 1993). Quatro anos depois foi publicada a Portaria Ministerial nº 326, de 30 de julho de 1997, que

estabelece condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores e, ou industrializadores de alimentos (BRASIL, 1997).

O item 8.3 da Portaria nº 326/1997 trata do uso da água dentro dos estabelecimentos produtores de alimentos, e determina que na manipulação de alimentos somente deve ser utilizada água potável (BRASIL, 1997). Porém permite a utilização de água não potável para a geração de vapor, sistema de refrigeração, controle de incêndio e outros fins análogos não relacionados com alimentos, desde que possua a aprovação do órgão competente (BRASIL, 1997). Nesse contexto, surge à possibilidade de implantar o reuso de água até mesmo dentro de sistemas mais exigentes, como na cadeia de produção de alimento, tomando-se todos os cuidados necessários. A água recirculada para ser reutilizada novamente dentro de um estabelecimento deve ser tratada e mantida em condições tais que seu uso não possa representar um risco para a saúde humana (BRASIL, 1997).

A portaria também enfatiza que não devem ser cultivados, produzidos nem extraídos alimentos ou criações de animais destinados à alimentação humana, em áreas onde a água utilizada nos diversos processos produtivos possa constituir, através de alimentos, um risco a saúde do consumidor (BRASIL, 1997).

2.5 IMPORTÂNCIA DO REUSO

A coleta e tratamento de esgotos, no Brasil, não abrangem as áreas rurais, a destinação dos rejeitos, fica por conta do proprietário rural, que quase sempre adota o sistema de fossa rudimentar (Bertoncini, 2008). Apenas 5,7% dos domicílios rurais estão ligados à rede de esgotos e 20,3% utilizam a fossa séptica como solução para o tratamento dos esgotos domésticos, enquanto os demais domicílios (74%) depositam os esgotos em fossas rudimentares, nos cursos hídricos ou diretamente no solo a céu aberto (IBGE, 2010).

A falta de saneamento básico no meio rural, independente da forma de ocupação, é um fator preocupante devido ao constante lançamento de resíduos no meio ambiente (Rheinheimer et al., 2003). As populações humanas consomem o recurso hídrico que por vezes são contaminadas por atividades agropecuárias, disposição de resíduos de forma inadequada, entre outras atividades desenvolvidas de maneira

prejudicial ao meio hídrico, sem os cuidados necessários com o ambiente (Pilatti & Hinsching, 2008).

Uma solução para resolver o problema seria o investimento em saneamento básico e principalmente no tratamento do esgoto sanitário, realizado por meio de estações de tratamento de esgoto ou por métodos alternativos, viabilizando o reuso e causando menos danos aos cursos d'água; já que reproduzem, em um menor espaço e tempo, a sua capacidade de autodepuração, contribuindo ainda com o racionamento da água limpa. Segundo Rodrigues (2005), o reuso de água evidencia dois aspectos: como instrumento para redução do consumo de água (controle de demanda) e como recurso hídrico complementar. Podem-se poupar grandes volumes de água potável pelo reuso de água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade (Braga et al., 2005; Cunha et al., 2011).

Segundo a Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o reuso de água constitui-se em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos. Esta prática está sendo considerada uma alternativa para aumentar a disponibilidade dos recursos hídricos existentes e futuros, visto como alternativa conservacionista ao crescente aumento da demanda por água não só no meio rural, mais como em todo país. Segundo van der Hoek et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária são a conservação da água disponível, a grande disponibilidade, o aporte e a reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) colaborando, assim, para a preservação do meio ambiente. Para Hespanhol (2008), o uso sustentável de recursos hídricos, permite minimizar a poluição hídrica, estimular o uso racional de água de boa qualidade, possibilitar a economia com fertilizantes e matéria orgânica e melhorar o abastecimento de água e tratamento de esgoto doméstico pela utilização múltipla da água.

A água proveniente dos tratamentos usados nas áreas rurais poderá ser empregada em atividades que beneficiem a própria comunidade. Porém, o reuso para fins potáveis só pode ser praticado tendo como matéria-prima básica esgotos exclusivamente domésticos (Braga et al., 2005). Dessa forma, os métodos mais utilizados para o reuso da água residuária é a sua utilização para fins não potáveis, como a irrigação de culturas não comestíveis. Ainda de acordo com Braga et al. (2005), o uso de esgotos domésticos para a irrigação de culturas aumentou em razão de fatores como,

falta de fontes alternativas para a irrigação, custo elevado de fertilizantes, mínimo impacto sobre o solo e saúde pública, dentre outras. Branco et al. (1999) destacaram que além de recuperar nutrientes que seriam perdidos, o uso de água residuária na irrigação, favorece também a estabilização do efluente, a adsorção, a imobilização de metais e sais dissolvidos.

2.6 DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O método de irrigação mais recomendado para aplicação de águas residuárias é a localizada em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação, tanto do produto agrícola quanto de operadores no campo (Batista et al., 2009). Porém, seus emissores estão entre as peças mais importantes do sistema, possuindo um estreito labirinto que facilmente pode ser entupido por poluentes, tais como, partículas em suspensão, precipitações químicas, matéria orgânica, e microrganismos (Li et al., 2006). Na Tabela 6 estão apresentadas as características físico-químicas e biológicas das águas residuárias que representam risco de obstrução de gotejadores.

A irrigação localizada visa o aumento da produção agrícola por meio do fornecimento mínimo de água e nutrientes diretamente no sistema radicular das plantas, usando a água de forma econômica. Este método de irrigação é utilizado em uma grande variedade de culturas, em especial, as de maior rentabilidade econômica, devido ao custo inicial elevado (Sahin et al., 2005).

A utilização de águas residuárias na irrigação é uma alternativa que está sendo bastante difundida, devido a benefícios tais como a economia de água e o fornecimento de nutrientes, além de contribuir para a minimização dos impactos ambientais. No entanto, é necessário que se faça o controle da qualidade dos efluentes, em função dos efeitos negativos que agentes físico, químicos e biológicos podem acarretar no desempenho de sistema de irrigação, comprometendo, assim, a uniformidade de aplicação de efluente (Batista et al., 2005).

Tabela 6 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias que representam risco de obstrução de gotejadores.

Tipo de problema	Risco de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	a	b	a	b	a	b
Físico						
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	<50	<200	50-100	200-400	>100	>400
Químico						
pH	< 7,0	< n.c.	7,0-7,5	n.c.	> 7,5	n.c.
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	<500	<625	500-2.000	625-2.900	>2.000	>2.9
Manganês total (mg L ⁻¹)	< 0,1	< 0,7	0,1 - 1,5	0,7 - 1,0	> 1,5	> 1,0
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	< 0,5	0,2 - 1,5	0,5 - 1,2	> 1,5	> 1,2
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2	n.c.	0,2 - 2,0	n.c.	> 2,0	n.c.
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	n.c.	< 12,5	n.c.	12,5 - 22,5	n.c.	>
Magnésio	n.c.	< 2,0	n.c.	2,0 - 7,3	n.c.	> 7,3
Biológico						
População bacteriana (UFC)	<	n.c.	10.000 -	n.c.	> 50.000	n.c.

Nota: (a) Segundo Nakayama et al. (2006) e (b) De acordo com Capra & Scicolone (1998); n.c. –não classificado; e UFC - unidades formadoras de colônias.

Segundo Silva et al. (2012a), as causas de obstrução de emissores variam de localidade para localidade e, de forma geral, são de natureza física (partículas como areia, argila, silte, entre outros), química (sólidos dissolvidos que interagem entre si formando precipitados) e biológica (algas e outros microrganismos). Batista et al. (2013) complementam que o fator central de entupimento de gotejadores, tem sido a formação de depósitos gelatinosos resultantes da interação entre partículas orgânicas e inorgânicas, algas e bactérias formadoras de mucilagens. É um processo complexo, que se inicia pela deposição de algas e outros sólidos orgânicos em ambiente escuro, que associado a altas concentrações de matéria orgânica estimulam o crescimento de bactérias heterotróficas, formando o biofilme (Taylor et al., 1995). Hills & Brenes (2001) verificaram diminuição de até 75% na vazão nominal média de sistemas de irrigação por gotejamento, aplicando esgoto sanitário tratado, após 3.000 h de funcionamento.

A sensibilidade ao problema de entupimento depende tanto das características do gotejador, como da qualidade da água (Santos et al., 2003; Silva et al., 2013). É um fator de grande importância dentro do sistema, pois a uniformidade de aplicação de água influencia diretamente na produção agrícola e na minimização de gastos com água e energia. A uniformidade, também, pode sofrer influência da temperatura, características

de fabricação dos emissores, diferenças da pressão de serviço no sistema e relevo da área (Lopez et al., 1997).

Entre as práticas mais utilizadas para a minimização do entupimento de gotejadores estão a sedimentação (Capra & Scicolone, 1998), a filtração (Nakayama et al., 2006), o aumento da pressão de serviço (Silva et al., 2013) e a limpeza das linhas laterais com água (Puig-Bargues et al., 2010), como também a cloração (Hills et al., 2000).

Sagi et al. (1995) verificaram que a vazão média dos gotejadores tratados com cloro, diariamente ou a cada três dias, foi de 97% da vazão inicial, enquanto nos gotejadores-testemunha e nos que receberam cloro a cada 10 dias, a vazão reduziu para 75 e 79% da vazão nominal, respectivamente.

O cloro é comumente empregado na minimização do entupimento de gotejadores, porém pode se tornar perigoso, pelo seu possível potencial cancerígeno. A possibilidade da formação de substâncias cancerígenas por derivados clorados tem incentivado a criação de novas técnicas para a inativação de microrganismos capazes de produzir subprodutos que causem obstrução de gotejadores (Hills et al., 2000; Sahin et al., 2005).

O método do aumento de pressão também é bastante utilizado como medida de controle de obstrução de emissores. Trabalhos demonstram que os sistemas de irrigação por gotejamento operando nas pressões de serviço 75 e 145 kPa apresentaram maiores níveis de entupimento em relação àquelas com as pressões de serviço 215 e 285 kPa (Batista, 2007; Faria et al., 2002). Para Silva et al. (2013) o aumento na pressão de serviço torna-se uma alternativa de baixo custo, fácil operação e alta eficiência na prevenção da formação de biofilme.

2.7 IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico brasileiro, por ser a principal matéria-prima utilizada pela indústria sucroalcooleira para a produção de açúcar e álcool (Benet et al., 2011). É considerada uma planta semi-perene e apresenta um ciclo médio de quatro anos desde o plantio até a renovação da área plantada. Teve como centro de origem a região leste da Indonésia e Nova Guiné e ao longo de muitos séculos, se disseminou

para várias ilhas do sul do Oceano Pacífico, Indochina, Arquipélago da Malásia e Bengala, aparecendo como planta produtora de açúcar na Índia tropical (Hamerski, 2009).

De acordo com Brandão (1985), inicialmente o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil visava principalmente a fabricação de açúcar, com objetivo econômico para Portugal, sendo a principal fonte econômica oriunda da agricultura e a mais longa das bases econômicas da história do Brasil.

O Brasil é hoje, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável por aproximadamente 20% da produção e 40% da exportação (UNICA, 2013). A safra nacional de cana-de-açúcar foi estimada em 715.333.588 Mg, um crescimento de 6,0% em relação ao ano de 2012 e o rendimento médio esperado de 77 Mg ha⁻¹ é 7,4% superior ao apurado no ano anterior (IBGE, 2013).

Da cana aproveita-se o caldo de onde se obtêm o açúcar, a cachaça, o álcool, a rapadura e outros; o bagaço que da origem a ração, o adubo ou o combustível; e das folhas, a cobertura morta ou ração animal. A cana apresenta-se, também, como uma fonte alternativa de energia, por possibilitar a geração de energia elétrica por meio da queima do bagaço, além da produção de plástico biodegradável. Dessa forma, a agroindústria da cana-de-açúcar integra sistemas de produção alimentar, não alimentar e energético, envolvendo atividades agrícolas e industriais e com a vantagem de ter os menores custos de produção do mundo (Vasconcelos, 2002). Apesar de toda essa variedade de produtos que podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar, para Ometto (2000), a importância econômica dessa cultura está na sua capacidade de armazenar concentrações significativas de sacarose, a qual está vinculada a três importantes agroindústrias: açúcar, álcool e aguardente.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8.799.150 mil hectares (CONAB, 2013). Ainda de acordo com a CONAB (2013), a área de cana-de-açúcar destinada à produção neste ano safra deve apresentar um crescimento de 3,70% ou 314.150 hectares em relação à safra passada.

2.8 PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

A cana-de-açúcar produz grandes quantidades de fitomassa e para isso são necessárias grandes quantidades de nutrientes e de água. É uma cultura que requer grandes quantidades de água e nitrogênio para o alcance máximo do rendimento (Segato et al., 2006). Segundo Coleti et al. (2006), a quantidade de macro nutrientes extraídos durante a produção da cana obedece a seguinte ordem: $K > N > P > Mg > Ca$.

Tendo em vista a elevada exigência de água pela da cultura, o uso da irrigação acaba se tornando indispensável para o cultivo da cana-de-açúcar na região nordeste. Nessa região uso parcial ou total de água residuárias, obtidas de estações de tratamento esgoto tem se mostrado uma alternativa para solucionar o problema da pouca disponibilidade de água para irrigação de determinadas culturas como a da cana-de-açúcar. A prática do reuso planejado de águas residuárias domésticas na agricultura é apontada como excelente medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido, especificamente nas áreas circunvizinhas às cidades (Sousa et al., 2006).

Segundo van der Hoek et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na possibilidade de aporte de nutrientes, concorrendo para a preservação do meio ambiente. Mancuso & Santos (2003) reafirmam que o uso de águas residuárias na agricultura constitui um aporte de grande quantidade de nutrientes ao solo, aumentando o rendimento dos cultivos. Em trabalhos conduzido por Gomes et al. (2009) constatou-se, por meio da análise foliar, que o esgoto doméstico tratado utilizado como fonte hídrica supriu totalmente as necessidades nutricionais de fósforo e enxofre da cultura.

Estes efluentes depois de tratados, normalmente apresentam baixa demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e reduzido nível populacional de microrganismos, além de conterem vários macros e micronutrientes (Feitosa et al., 2009). Freitas et al. (2012) trabalhando com cana-de-açúcar em duas fontes hídricas, água potável e esgoto doméstico tratado, notaram maiores variáveis vegetativas da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado. Silva et al. (2009) afirmavam que não ocorrem alterações nos indicadores de qualidade da cana-de-açúcar irrigada com água residuária, tais como Brix, Pol, teor de fibra e de açúcares redutores.

O uso da água residuária na agricultura apresenta vantagens como a sustentabilidade dos recursos hídricos, a minimização da poluição hídrica dos

mananciais, a economia de fertilizantes e aumento da produtividade agrícola (Hespanhol, 2008). Contra isto, entretanto, pesam os aspectos sanitários dessas águas (Sousa et al., 2003), que demandam tratamento adequado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 HISTÓRICO DO PROJETO DE ASSENTAMENTO MILAGRES E SANEAMENTO BÁSICO

A produção agrícola na Chapada do Apodi em Apodi-RN ocupa posição de destaque no Estado do Rio Grande Norte, particularmente em relação a produção de mel, caprinos, algodão agroecológico, frutas, hortaliças e outros. Até o ano de 2008 o algodão foi à cultura de maior importância na Chapada do Apodi, entretanto o desenvolvimento descontrolado do bicudo do algodoeiro inviabilizou a continuidade dessa atividade na região.

Nesse contexto, o Projeto de Assentamento Reforma Agrária Milagres destaca-se pela atividade agrícola irrigada e de sequeiro, com a produção de milho, feijão, girassol, algodão agroecológico, caju, mandioca, manga, batata, acerola, mamão, melão, melancia e hortaliças. Na pecuária tem a apicultura, caprinocultura e bovinocultura como atividades de maior expressão, sendo a primeira apontada como de grande potencial, devido à diversidade de espécies melíferas encontradas durante o período chuvoso.

O assentamento abriga 107 habitantes em 28 residências, produzindo diariamente um volume de 20 m³ de água residuária doméstica. No local foram implementadas ações do saneamento tais como esgotamento sanitário; coleta, tratamento e destinação dos resíduos sólidos; e água potável para consumo. Existe rede coletora da água residuária doméstica em todas as residências, tendo o ramal domiciliar diâmetro nominal de 100 mm e as tubulações primária e secundária com diâmetro nominal de 150 mm.

O esgotamento sanitário do assentamento consiste de um sistema de coleta da água residuária doméstica e posterior tratamento em estação para uso agrícola, não havendo o lançamento direto da água residuária tratada em corpos hídricos, minimizando os riscos de poluição e contaminação ambiental. Em 2014, das 28 residências existentes no assentamento, apenas duas residências (7%) não estão interligadas a rede coletora da água residuária doméstica. Com relação aos resíduos sólidos doméstico é feita uma triagem do material, sendo a fração orgânica

encaminhada para compostagem (resíduos orgânicos diversos) e alimentação de suínos (resíduos de comida), enquanto a fração reciclável (papel, plástico, vidro e metal) é enterrada. Ressalta-se que os assentados já estão se organizando para a implantação do sistema de coleta seletiva, onde os materiais recicláveis serão separados, armazenados e comercializados para entidade de reciclagem do município de Apodi-RN. O abastecimento de água no assentamento é feito por meio de poço profundo (150 m) e rede distribuidora. A água não apresenta contaminação físico-química e, ou microbiológica, não demandando, assim, tratamento da mesma. No assentamento não existem problemas com embalagens de agrotóxicos, pois adotam os princípios de produção agrícola da agroecologia.

O nome “Milagres” foi atribuído pelos assentados no ano de 1999, devido à conquista da terra tão desejada e pretendida para propiciar a moradia e a subsistência dessas pessoas.

A área experimental destinada à realização do presente trabalho situa-se em antigo terreno destinado a produção de algodão, caprinos e bovinos. Ressalta-se, ainda, que a vegetação predominante no assentamento é a caatinga hiperxerófila dotada de grande diversidade de espécies arbóreas (Lemos, 2011).

3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E SUA LOCALIZAÇÃO

O trabalho foi realizado de março a agosto de 2012 no Projeto de Assentamento Rural Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN sob as coordenadas geográficas latitude: 5° 37' 38'' de latitude sul e 37° 49' 55'' de longitude oeste e altitude de 150 m. Uma imagem de satélite do Projeto de Assentamento Rural Milagres é apresentada na Figura 2.

A região da Chapada do Apodi possui clima muito quente e semiárido, segundo a classificação climática de Köppen, com temperatura média anual de 27,1 °C, temperatura máxima média de 34,1 °C e temperatura mínima média de 22,8 °C. A insolação média da região é de aproximadamente 3041 horas ano⁻¹, com evaporação média de 2190 mm ano⁻¹, umidade relativa média de 66,8 % e precipitação média de 893 mm ano⁻¹ (Rocha et al., 2009).



Fonte: GOOGLE EARTH (2014).

Figura 2 - Imagem de satélite do Assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN destacando a área experimental.

O solo da área experimental do Assentamento Milagres foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico, conforme as normatizações da EMBRAPA (2006). As características físicas e químicas do solo antes da aplicação da água residuária doméstica tratada estão apresentadas na Tabela 7.

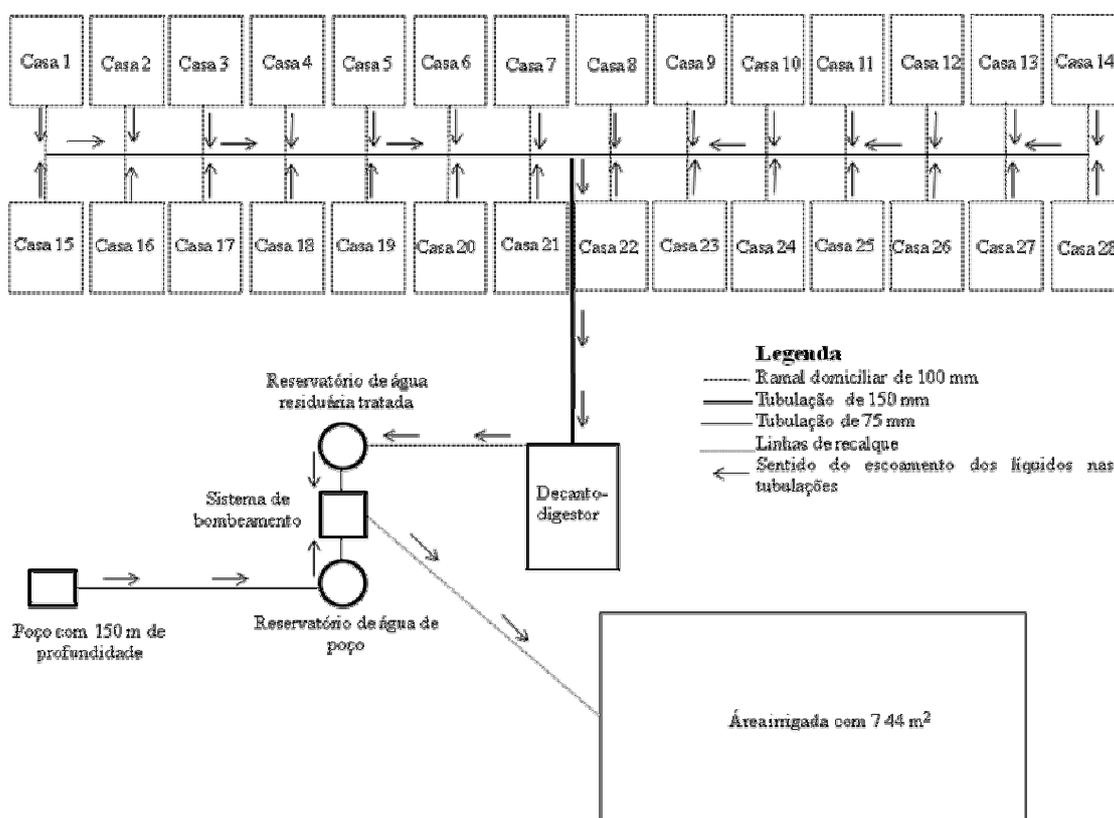
Tabela 7 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária de origem doméstica

Camada no perfil do solo (m)	pH	MO g kg ⁻¹	P	K ⁺	Na ⁺	N	B	Cu	Zn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ²⁺	SB	CTC	m
			mg dm ⁻³cmol _c dm ⁻³%..
0 a 0,20	6,7	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0
0,20 a 0,40	7,2	1,2	1,4	106	120	0,20	0,2	0,9	0,5	1,8	0,6	0,0	2,67	3,17	0
0,40 a 0,60	6,5	1,1	0,7	134	118	0,18	0,3	0,5	0,4	3,5	1,3	0,0	5,14	5,14	0
Camada no perfil do solo (m)	Densidade do solo g cm ⁻³			Areia		Silte		Argila		Umidade (%)					
			kg kg ⁻¹							0,01 MPa	1,5 MPa			
0 a 0,20				1,80		0,83		0,07		0,10		28,6		6,2	
0,20 a 0,40				1,69		0,55		0,07		0,38		18,2		12,2	
0,40 a 0,60				1,73		0,47		0,06		0,47		18,0		12,7	

Nota: MO - matéria orgânica determinada pelo método Walkley-Black (Defelipo & Ribeiro, 1981); pH em água (relação 1:2,5); P, K e Na - fósforo disponível, potássio e sódio trocável, extraídos com Mehlich 1 e determinados conforme o método definido por Defelipo & Ribeiro (1981); Ca, Mg, e Al - cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados conforme Defelipo & Ribeiro (1981); SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; m - saturação por alumínio; argila determinada conforme o método da pipeta (EMBRAPA, 1997); e densidade do solo determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

O tratamento primário da água residuária doméstica foi realizado por um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios), sendo a disposição final da água residuária doméstica primária realizada por meio de sistema de irrigação por gotejamento para a produção de cultivos agrícolas apontados pelos assentados, como apresentado no esquema da Figura 3.

A água residuária doméstica tratada pelo decanto-digestor foi armazenada em reservatório de 10 m³, para posterior aplicação pelo sistema de irrigação por gotejamento. Enquanto, a água limpa utilizada no experimento foi obtida de um poço com 150 m de profundidade, dotado de bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv.

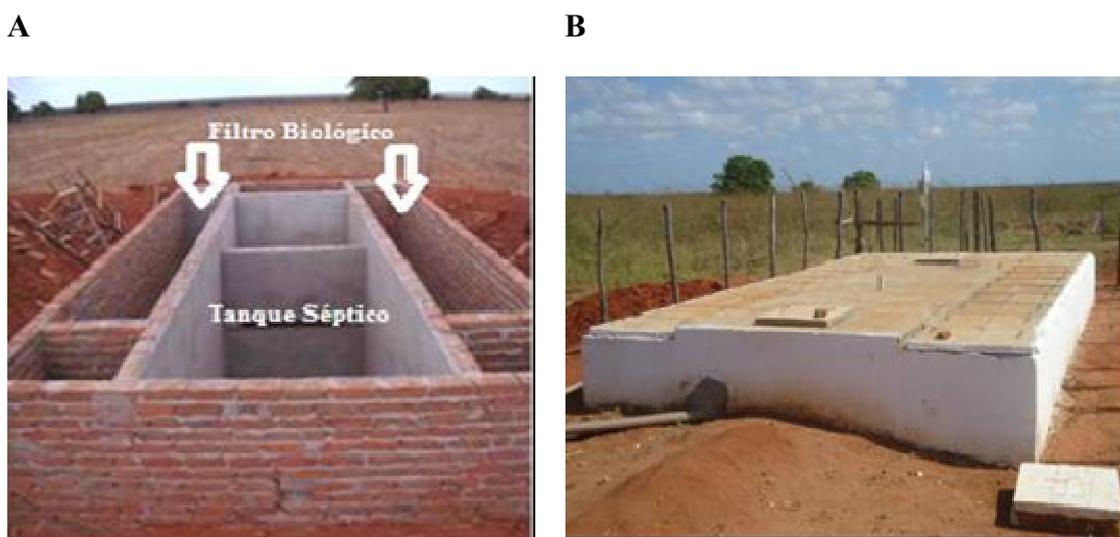


Fonte: Arquivo da pesquisadora (2014).

Figura 3 - Esquema detalhado da rede condutora de água residuária e água de poço, bem como do sistema de tratamento e reuso de água implantado no assentamento Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN.

3.2.1 Descrição do decanto-digestor

O decanto-digestor foi construído em alvenaria de tijolos maciços com revestimento interno e externo contendo agente impermeabilizante para evitar infiltrações e vazamentos da água residuária doméstica. A cada dois anos de operação é feito o recolhimento do lodo por empresa terceirizada com caminhão limpa fossa, posteriormente, o resíduo é encaminhado para uma estação de tratamento da própria empresa. Além disso, ao lado do decanto-digestor foi construído um pequeno sistema para deságue e compostagem do lodo, com o intuito de realizar experimentos para o aproveitamento agrícola desse resíduo. Apresenta-se, na Figura 4, a imagem frontal do decanto-digestor destacando interna e externamente o tanque séptico e os filtros biológicos.



Fonte: Lemos (2011) e Arquivo da pesquisadora (2014).

Figura 4 - Imagens frontais do decanto-digestor destacando internamente (A) e externamente (B) o tanque séptico e os dois filtros biológicos.

O tanque séptico e os filtros biológicos foram dimensionados conforme as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), tendo as dimensões internas de 4,0 m de largura, 8,0 m de comprimento e 1,80 m de profundidade.

No dimensionamento do decanto-digestor utilizou-se a profundidade útil de 1,30 m, sendo do detalhamento do sistema o seguinte:

a) Um tanque séptico com duas câmaras, medindo 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 12 horas, frequência para remoção do lodo de dois anos, ocupando um volume de 20 m³ responsável por proporcionar a remoção de sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra, foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,20 m de altura; e

b) Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de 16,0 m³. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes na água residuária doméstica. O tempo de detenção hidráulica para cada filtro foi de duas horas.

3.2.2 Sistema de reuso de água implantado no assentamento Milagres

O sistema de reuso de água foi instalado em uma área de 744 m² com a finalidade de fornecer as proporções de água residuária doméstica primária e água de poço, necessárias aos ensaios experimentais. Considerando que a água residuária doméstica foi submetida, apenas ao tratamento primário, enfatiza-se que existe o risco microbiológico da água residuária doméstica. Por esta razão instalou-se uma cerca de arame farpado (seis fios) ao redor da área experimental, possibilitando restrição de acesso ao público, segundo as recomendações da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

As proporções de água residuária doméstica primária e da água de poço foram realizadas por meio de um sistema de irrigação por gotejamento automatizado composto por:

a) Dois reservatórios de 10 m³ para armazenamento da água residuária doméstica primária e da água de poço, ambos construídos em concreto armado revestido

com revestimento interno e externo impermeabilizante, nas dimensões internas de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade (Figuras 5a e 5b);

b) Duas unidades de recalque dotadas de motobombas com potência de 1,5 cv e filtro de discos com aberturas de 130 μm (Figura 5c);

c) Cinco unidades de irrigação por gotejamento para aplicação das proporções de água residuária doméstica primária e água de poço (Figura 5d).

A



B



C



D



Fonte: Arquivo da pesquisadora (2014).

Figura 5 - Imagens do sistema de irrigação por gotejamento automatizado instalado no assentamento Milagres detalhando o reservatório de água residuária doméstica primária (A), reservatório de água de poço (B), sistemas de recalque dos líquidos (C) e unidades de irrigação por gotejamento (D).

No sistema de irrigação por gotejamento foram utilizadas linhas laterais com gotejador dotado das seguintes características: vazão nominal de 1,65 L h⁻¹ com pressão de 100 kPa, sem dispositivo de autocompensação, área de filtração de 5,0 mm², comprimento do labirinto de 58 mm, faixa de pressão recomendada de 50 a 250 kPa e espaçamento entre emissores de 0,30 m. Esse emissor possui labirinto tortuoso com

saliências que provocam um regime de escoamento turbulento que ameniza a sedimentação de partículas em seu interior. Na Figura 6 está ilustrado o modelo de gotejador utilizado no experimento.



Fonte: Arquivo da pesquisadora (2014).

Figura 6 - Imagem do gotejador não-autocompensante utilizado no sistema de irrigação para aplicação das proporções de água residuária doméstica primária e água poço.

3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

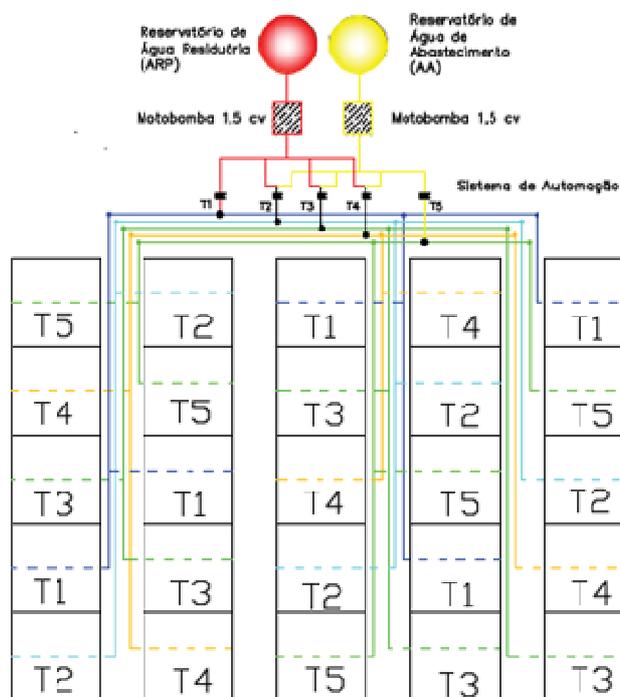
Para a irrigação da cana-de-açúcar com as proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP) os tratamentos utilizados foram os seguintes: T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP-testemunha, como ilustrado na Figura 7.

O desempenho do sistema de irrigação foi analisado no esquema de parcelas subdivididas, tendo os cinco tratamentos nas parcelas e os quatro tempos de avaliação nas subparcelas (0, 42, 84 e 133 horas), com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes das equações de regressão, empregando-se o teste “t” à 10% de probabilidade, no valor do coeficiente de determinação e no processo em estudo.

Para os dados de produtividade da cana-de-açúcar o experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F à 5% de

probabilidade. As médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey à 5% de probabilidade.

O programa computacional usado na análise estatística foi o R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP (testemunha).

Figura 7 - Delineamento experimental utilizado na condução dos ensaios experimentais.

3.4 PLANTIO E IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Deve-se ressaltar que antes do experimento com a cana-de-açúcar, o solo da área experimental foi cultivado com girassol e milho recebendo a aplicação de 371 mm das proporções de água residuária doméstica primária e água de poço, no período de 20 de outubro de 2011 à 15 de dezembro de 2011. Essa área permaneceu sem atividades de pesquisa de 16 de dezembro de 2011 à 13 de março de 2012, sendo a precipitação acumulada no período inferior à 150 mm. Na Figura 8 ilustra-se a cana-de-açúcar no início e durante o seu ciclo vegetativo.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2014).

Figura 8 - Imagens da cana-de-açúcar cultivada na área experimental.

Os colmos da cana-de-açúcar variedade RB 867515 foram plantados no espaçamento de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no dia 28 de março de 2012, sendo a colheita realizada 153 dias após o plantio (DAP). Nas parcelas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar não foi utilizada adubação química.

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco fileiras de plantas de 2,5 m, sendo duas bordaduras e as três fileiras centrais a parcela útil, totalizando 25 parcelas. Cada parcela ocupou 12,5 m², tendo área útil de 7,5 m² e área de bordadura de 5,0 m² (Figura 7). Ao longo do ciclo da cana-de-açúcar não foi realizada calagem, adubação química e aplicações de agrotóxicos e herbicidas. O controle das plantas daninhas entre as linhas de plantio foi realizado por meio de capina manual, a cada 15 dias até a colheita.

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar foi estimada com base na evapotranspiração de referência determinada pela metodologia padronizada da FAO empregando a equação de Penman-Monteith (Allen et al., 2006), conforme apresentado na equação 1.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que;

ET₀ - evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹;

R_n - saldo de radiação à superfície, em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;
 G - fluxo de calor no solo, em $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$;
 T - temperatura do ar a 2 m de altura, em $^{\circ}\text{C}$;
 U_2 - velocidade do vento à altura de 2 m, em m s^{-1} ;
 e_s - pressão de saturação de vapor, em kPa;
 e_a - pressão de vapor atual do ar, em kPa;
 $(e_s - e_a)$ - déficit de pressão de vapor, em kPa;
 Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação, em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$; e
 γ - constante psicrométrica, em $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Os dados meteorológicos necessários para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pela equação de Penman-Monteith como velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação, radiação solar e temperatura foram obtidos de uma estação meteorológica instalada na área experimental.

Na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizaram-se os valores do coeficiente de cultura (K_c) de 0,65, 1,10 e 0,55 para as fases inicial, crescimento máximo e maturação, respectivamente, obtidos por Silva et al. (2012b) na região semiárida do submédio do Vale do São Francisco para a variedade de cana-de-açúcar RB 92579.

No período experimental de 153 dias, compreendidos entre 14 de março de 2012 e 14 de agosto de 2012, totalizou-se uma lâmina bruta de irrigação de 692 mm para as proporções de água residuária doméstica e água de poço, como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Lâminas brutas acumuladas no período de 153 dias de aplicação das proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP).

Tratamentos	Lâminas (mm)		
	ARP	AP	ARP + AP
T1	692	0	692
T2	519	173	692
T3	346	346	692
T4	173	519	692
T5	0	692	692

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E DA ÁGUA DE POÇO

As quatro campanhas para coletas de amostras da água residuária doméstica primária e da água de poço foram realizadas no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012. No plano de amostragem foi prevista a coleta de amostras simples e compostas nos reservatórios de água residuária doméstica primária e de água de poço. As análises físicas, químicas e microbiológicas seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al., 2012).

Na caracterização físico-química da água residuária doméstica primária, as amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C. Em seguida, essas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica (CE) dS m^{-1} , turbidez (TB) UNT, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mg L^{-1} , Demanda Química de Oxigênio (DQO) mg L^{-1} , sólidos dissolvidos (SD) mg L^{-1} , sólidos suspensos (SS) mg L^{-1} , sódio (Na^{+}) $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$, cálcio (Ca^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$, magnésio (Mg^{2+}) $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$, ferro total (Fe) mg L^{-1} , manganês total, (Mn) mg L^{-1} , cobre (Cu) mg L^{-1} e zinco (Zn) mg L^{-1} .

Na caracterização microbiológica da água residuária doméstica primária e da água de poço, outras amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo e encaminhadas ao Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e de coliformes termotolerantes (CTe).

3.6 MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A avaliação da uniformidade de aplicação foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978) modificada por Deniculi et al. (1980). Na qual se determina a vazão dos gotejadores, em oito posições e em quatro linhas laterais, sendo na primeira linha lateral, na situada a 1/3 da origem, na situada a

2/3 e na última linha. Em cada linha lateral, selecionam-se oito gotejadores (o primeiro, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 do comprimento e o último). Os dados de vazão foram obtidos coletando-se o volume aplicado pelo emissor, durante um período de três minutos.

No experimento efetuaram-se quatro avaliações da uniformidade de aplicação de origem doméstica e de água de poço com 0, 42, 84 e 133 horas de operação das subunidades de irrigação por gotejamento.

Para o cálculo da uniformidade de aplicação de efluente, foram utilizados o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Variação de Vazão (CVQ), conforme apresentado nas equações 2, 3 e 4.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n_e q_m} \right) 100 \quad (2)$$

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (3)$$

$$CVQ = \left(\frac{\sigma_Q}{q_m} \right) 100 \quad (4)$$

em que;

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

CVQ - coeficiente de variação de vazão, %;

$q_{25\%}$ - média do menor quartil das vazões observadas, $L h^{-1}$;

q_i - vazão de cada gotejador, $L h^{-1}$;

q_m - vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$;

n_e - número de gotejadores; e

σ_Q - desvio-padrão das vazões dos gotejadores, $L h^{-1}$.

Paralelamente a medição de vazão dos gotejadores, a pressão de serviço do sistema de irrigação foi medida com manômetro e mantida em 100 kPa.

3.7 PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

A produtividade da cana-de-açúcar foi obtida pela pesagem da massa verde (colmo mais folhas) de uma área de 0,25 m² em cada uma das 25 parcelas, 153 dias após o plantio (DAP).

3.8 ANÁLISE MICROBIOLÓGICAS DAS FOLHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Para detecção e quantificação dos coliformes termotolerantes na cana-de-açúcar, foram coletadas três folhas (153 DAP), mais próximas do solo irrigado, em cada uma das 25 parcelas experimentais. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos esterilizados, sendo posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia da empresa Plena Diagnósticos localizada em Mossoró-RN, onde foram feitas as análises de coliformes termotolerantes (*E. coli*). Após pesados, 10 g do produto agrícola, o mesmo foi triturado, colocado em solução salina a 8,5% (NaCl). Em seguida, retirou-se uma alíquota de 1 mL, colocada no meio de cultura (placas de petrifilm), levadas à estufa, sob temperatura controlada a 37°C, por 48 horas. Após este período, as placas de petrifilm foram retiradas da estufa e realizou-se a contagem, com o auxílio de uma lupa, das colônias de coliformes termotolerantes.

3.9 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Nas 25 parcelas foram coletadas amostras de solo após a colheita da cana-de-açúcar para identificação e quantificação de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos.

As amostras de solo foram coletadas entre plantas na linha de plantio dentro da área útil de cada parcela. A coleta foi realizada na camada superficial de 0 a 0,20 m e encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia da empresa Plena Diagnósticos localizada em Mossoró-RN para serem feitas as análises de coliformes termotolerantes (*E. coli*). As amostras de solo foram pesadas (10g), colocadas em frascos de vidro com 90mL de solução salina a 8,5% (NaCl), completando um volume de 100 mL, agitadas manualmente (20 vezes), e em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 mL do material

que foi colocada no meio de cultura (placas de petrifilm). As placas de petrifilm foram colocadas para incubar em estufa, sob temperatura controlada de 44,5°C, por 48 horas. Após este período, as placas de petrifilm foram retiradas da estufa e levadas para serem feitas às contagens das colônias de coliformes termotolerantes (*E. coli*) e totais utilizando-se uma lupa.

Para a identificação e quantificação dos ovos de helmintos utilizou-se 100g da amostra de solo homogeneizada, posteriormente a mesma foi imersa em cálice de sedimentação, contendo água a 45°C. O material foi sedimentado durante 24h, seguida de centrifugação do sedimento a 2000 rpm, por dois minutos, em tubo Wasserman. Lâminas foram preparadas, coradas com lugol e analisadas ao microscópio.

No processo de coleta de amostras do solo e das folhas da cana-de-açúcar e foram utilizados equipamentos de proteção individual tais como máscara, luva descartável, bota de borracha, óculos de proteção e jaleco. Deve-se ressaltar que essas amostragens ocorreram às 6:00 horas da manhã, devido a menor intensidade dos ventos que coloca em suspensão as bactérias presentes no solo irrigado com água residuária doméstica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E DA ÁGUA DE POÇO

Apresentam-se, na Tabela 9, o valor médio e o desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de quatro amostragens da água residuária doméstica primária e da água de poço realizadas durante o período experimental.

Tabela 9 - Valor médio e desvio padrão das características físico-químicas e microbiológicas de quatro amostragens de água residuária doméstica primária (ARP) e água de poço (AP) realizadas no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012

Características	ARP	AP
pH	7,30 ± 0,15	6,92 ± 0,17
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,98 ± 0,13	0,08 ± 0,01
Turbidez (UNT)	31,75 ± 6,24	2,60 ± 0,18
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)*	3,44 x10 ⁵ ± 1,99	0 ± 0
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)*	2,22x10 ³ ± 1,22	0 ± 0
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	121,75 ± 8,26	NR
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	30,25 ± 6,95	NR
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	449,00 ± 70,89	NR
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	102,25 ± 4,99	0 ± 0
Fósforo total (mg L ⁻¹)	1,02 ± 0,54	NR
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	35,25 ± 4,35	NR
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	24,75 ± 5,12	NR
Nitrato na forma de nitrogênio (mg L ⁻¹)	0,12 ± 0,01	0 ± 0
Potássio (mg L ⁻¹)	47,60 ± 17,05	10,40 ± 4,84
Ferro total (mg L ⁻¹)	0,42 ± 0,13	0,21 ± 0,11
Manganês total (mg L ⁻¹)	0,09 ± 0,06	0,05 ± 0,03
Zinco (mg L ⁻¹)	0,097 ± 0,03	0,13 ± 0,12
Cobre (mg L ⁻¹)	0,02 ± 0,03	0,02 ± 0,03
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	6,76 ± 2,89	0,42 ± 0,24
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	0,96 ± 0,45	0,89 ± 0,83
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	0,87 ± 0,32	0,74 ± 0,31
Cloreto (mmol _c L ⁻¹)	2,10 ± 2,00	1,70 ± 1,65
Razão de adsorção de sódio (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	6,22 ± 3,34	0,49 ± 0,38

Nota: * Média e desvio padrão geométrico. UNT – unidade nefelométrica de turbidez; NMP – número mais provável; NR – não realizado.

Na ARP o valor médio do pH encontram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para lançamento de água residuária doméstica tratada em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011a). Além disso, esse valor médio foi superior ao pH de 6,81 obtido por Moura et al. (2011) em água residuária doméstica tratada com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar, onde houve uma ligeira acidificação do efluente em função do tratamento anaeróbio. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o pH de ARP foi classificado como moderado, pois encontrou-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5 estabelecida por Nakayama et al. (2006).

O valor médio do pH de AP, durante o período experimental, enquadra-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria MS n° 2914/2011 (BRASIL, 2011b) que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. De acordo com Nakayama et al. (2006), o valor médio do pH de AP foi menor que 7,0 sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo.

Ayers & Westcot (1999) e Almeida (2010) recomendaram que o valor de pH da água de irrigação deve está entre 6,5 e 8,4, pois as concentrações de H^+ e OH^- podem interferir na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas, na estrutura e características do solo, como também nos sistemas de irrigação. Nesse sentido, os valores médio de pH tanto de ARP como de AP estão dentro das recomendações para irrigação de cultivos agrícolas.

O valor médio da condutividade elétrica de ARP foi inferior ao limite de 3,0 dS m^{-1} proposto para uso agrícola de água residuária (CEARÁ, 2002). Esse resultado difere do valor de 1,05 dS m^{-1} obtida por Moura et al. (2011) no tratamento de esgoto doméstico com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. A condutividade elétrica média de ARP apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m^{-1} (Capra & Scicolone, 1998).

Com relação à condutividade elétrica de AP, o seu valor médio atendeu ao padrão de potabilidade previsto na Portaria MS n° 2914/2011 (BRASIL, 2011b), sendo inferior ao limite de 1,57 dS m^{-1} . Além disso, a condutividade elétrica média da água de poço indica baixo risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de 0,8 dS m^{-1} (Nakayama et al., 2006).

Para ARP, o valor médio da turbidez foi inferior a 57,07 UNT obtida por Moura et al. (2011) no tratamento de esgoto doméstico com tanque séptico e filtro anaeróbio, provavelmente devido ao maior tempo de retenção hidráulico proporcionado pelo decanto-digestor. A remoção da turbidez de água residuária possibilita maior eficiência da inativação dos microrganismos patogênicos por processos de tratamento terciário que empregam radiação ultravioleta (Sanches-Roman et al., 2007).

A turbidez de AP apresentou valor médio inferior ao limite de 5,0 UNT apresentado pela Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b).

Na ARP o nível médio populacional de coliformes totais foi inferior ao limite de 10.000 UFC por mL que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (Nakayama et al., 2006). No trabalho realizado por Moura et al. (2011) o nível populacional médio de coliformes totais foi de $8,51 \times 10^3$ NMP por 100 mL na água residuária tratado em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar.

Não foi detectada a presença de coliformes totais na AP, indicando que essa característica atende aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011b).

O nível populacional médio de coliformes termotolerantes de ARP foi inferior ao limite de 5000 NMP por 100 mL para irrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus, como estabelecido na Portaria nº 154/2002 (CEARÁ, 2002). Esse resultado foi semelhante ao nível populacional médio de $1,72 \times 10^3$ NMP por 100 mL obtido por Moura et al. (2011) com água residuária doméstica tratada em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar.

Na AP constatou-se ausência de coliformes termotolerantes, não representando risco biológico de obstrução de gotejadores (Nakayama et al., 2006) e de contaminação microbiológica quando da irrigação de cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002).

O valor médio da DQO da ARP foi inferior ao limite de 200 mg L^{-1} estabelecido para o lançamento de água residuárias tratadas em corpos hídricos receptores (CEARÁ, 2002). Esse resultado assemelha-se ao valor médio de 139 mg L^{-1} obtido por Reinaldo et al. (2012) utilizando decanto-digestor, sistema alagado construído e reator solar no tratamento de água residuária doméstica.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011a), o valor médio da DBO da ARP atende ao padrão nacional de 120 mg L^{-1} para lançamento em corpos hídricos receptores. O resultado obtido para DBO foi superior ao limite de 25 mg L^{-1}

L⁻¹ de DBO, estabelecido por Capra & Scicolone (2004) para ótima uniformidade de aplicação de efluente via sistemas de irrigação por gotejamento.

Verificou-se que a concentração média de sólidos totais na ARP foi superior ao limite de 50 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias tratadas em corpos hídricos (CEARÁ, 2002). Além disso, esse resultado foi semelhante ao valor médio de 452 mg L⁻¹ obtido por Reinaldo et al. (2012) com água residuária doméstica tratada em decanto digestor, sistema alagado construído e reator solar.

A concentração média de sólidos suspensos presente na ARP foi superior a 100 mg L⁻¹ representando risco severo de obstrução de gotejadores conforme Nakayama et al. (2006). Esse resultado foi superior ao valor médio de 25 mg L⁻¹ e de 45 mg L⁻¹ obtido por Reinaldo et al. (2012) e Moura et al. (2011), respectivamente.

Na AP houve ausência de sólidos suspensos não representando risco de obstrução de gotejadores (Nakayama et al., 2006).

Para ARP o teor médio de fósforo foi inferior ao valor limite de 2,0 mg L⁻¹ estabelecido por Almeida (2010) para qualidade da água de irrigação. Esse resultado foi inferior ao valor médio de 2,98 mg L⁻¹ obtido por Moura et al. (2011) com água residuária tratamento em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar.

O valor médio do nitrogênio total na ARP foi inferior ao valor médio de 52,98 mg L⁻¹ obtido por Reinaldo et al. (2012) com água residuária doméstica tratada em decanto digestor, sistema alagado construído e reator solar.

O aumento na concentração de nitrogênio e fósforo nas águas superficiais pode promover o crescimento de plantas aquáticas e algas, acarretando o fenômeno da eutrofização (von Sperling, 2011).

A concentração média de óleos e graxas na ARP foi superior ao valor de 6,80 mg L⁻¹ obtido por Moura et al. (2011) com água residuária doméstica tratada em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. A concentração média de óleos e graxas na ARP atende ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de águas residuárias tratadas em corpos hídricos (BRASIL, 2011a).

Para ARP o teor médio de nitrato foi inferior ao valor médio de 3,24 mg L⁻¹ obtido por Moura et al. (2011). Deve-se ressaltar que a concentração de nitrato na ARP não ultrapassa o limite de 10 mg L⁻¹ apresentado por Feigin et al. (1991) para disposição de águas residuárias no solo como fertirrigação.

Na AP não foi detectada a presença de nitrato, sendo essa água recomendada tanto para a potabilidade (BRASIL, 2011b) quanto na irrigação de cultivos agrícolas (Almeida, 2010).

O teor médio de potássio na ARP e AP foi superior ao limite de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ proposto por Almeida (2010) para qualidade da água de irrigação. No trabalho desenvolvido por Santos et al. (2006) a concentração média de potássio foi $12,2 \text{ mg L}^{-1}$ em esgoto doméstico terciário.

O valor médio do ferro total presente na ARP encontra-se dentro da faixa de $0,2$ a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecida por Nakayama et al. (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Tal valor médio atende aos padrões de lançamento de água residuária tratada em corpo hídrico, onde o limite máximo é de $15,0 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2011a).

Na AP a concentração média de ferro encontra-se na faixa de $0,2$ a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, classificando o risco de obstrução de gotejadores como moderado. O valor médio do ferro foi inferior a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio (Ayers & Westcot, 1999). Em relação à potabilidade da água, o ferro é uma característica organoléptica, pois altera sua coloração. De acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b), a concentração média de ferro foi inferior ao limite de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, indicando a potabilidade dessa água.

A concentração média de manganês na ARP foi inferior ao limite de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (BRASIL, 2011a). Além disso, a concentração média de manganês na ARP foi menor que $0,20 \text{ mg L}^{-1}$, não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos. O manganês representa baixo risco de obstrução de gotejadores, pois o seu valor médio na ARP foi inferior ao limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ (Nakayama et al., 2006).

O teor médio do manganês na AP foi menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, sendo classificado como baixo o risco de obstrução de gotejadores. Segundo Ayers & Westcot (1999), concentrações de manganês menores que $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ não ocasionam problema de toxicidade à plantas. De acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b), a concentração média de manganês foi menor que o limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, indicando a potabilidade dessa água.

Na ARP a concentração média do zinco foi menor que $2,0 \text{ mg L}^{-1}$, não representando toxicidade para plantas em solos com pH superior a $6,0$ e com textura

final. De acordo com BRASIL (2011a), o valor médio de zinco é inferior ao limite de 5,0 mg L⁻¹ estabelecido para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos receptores.

O valor médio do cobre na ARP foi inferior ao limite de 0,20 mg L⁻¹, não sendo tóxico para plantas em soluções nutritivas. Segundo BRASIL (2011b), o valor médio de cobre é inferior ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos receptores.

As concentrações médias de cobre e zinco na AP foram inferiores aos limites de 2,0 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹ estabelecidos na Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b).

Na ARP o teor médio de sódio foi superior à 1,93 mmol_c L⁻¹ obtida por Batista, et al. (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. Segundo Ayers & Westcot (1999), concentrações de sódio superior a 3,0 e 9,0 mmol_c L⁻¹ fornecidas via irrigação por aspersão e superfície, respectivamente, podem reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis.

O teor médio de sódio da AP evidencia a potabilidade dessa água, por ser inferior ao limite de 8,7 mmol_c L⁻¹ estabelecido na Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b). Da mesma forma essa característica não impede a recomendação dessa água para irrigação de cultivos agrícolas por seu valor médio é inferior a 3,0 mmol_c L⁻¹ (Ayers & Westcot, 1999).

O valor médio do cálcio na ARP foi maior que 0,37 mmol_c L⁻¹ obtido por Batista et al. (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. De acordo com Capra & Scicolone (1998), esse valor médio é inferior a 12,5 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo.

A concentração média do magnésio na ARP foi igual ao valor de 0,87 mmol_c L⁻¹ obtido por Batista et al. (2006) com esgoto doméstico terciário. O valor médio do magnésio é inferior ao limite de 2,0 mmol_c L⁻¹ que classifica o risco de obstrução de gotejadores como baixo (Capra & Scicolone, 1998).

Segundo Capra & Scicolone (1998), as concentrações médias do cálcio e magnésio presentes na AP representam baixo risco de obstrução de gotejadores.

O valor médio de cloreto na ARP foi menor que 3,0 mmol_c L⁻¹ não representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas, conforme sugerido por Ayers & Westcot (1999). A toxicidade do cloreto aos cultivos agrícola está associada à não

retenção e adsorção pelas partículas do solo, facilitando o seu deslocamento com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocando às folhas, onde se acumula pela transpiração; e se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras nas folhas (Ayers & Westcot, 1999).

A concentração média de cloreto de AP atende as recomendações propostas por Ayers & Westcot (1999) para irrigação de cultivos agrícolas via sistemas de irrigação por superfície e aspersão. Além disso, a concentração média de cloreto atende as recomendações de potabilidade da água (BRASIL, 2011b).

A razão de adsorção de sódio da ARP foi maior que o valor de $2,54 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$ apresentado por Batista et al. (2006) em estudo com esgoto doméstico terciário. Analisando de forma conjunta as características condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio, verificou-se que o efluente representa risco ligeiro a moderado para a infiltração de efluente no solo, devido à dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso (Ayers & Westcot, 1999).

Utilizando a classificação proposta pelo *U. S. SALINITY LABORATORY STAFF*, apresentada por Bernardo et al. (2008), a ARP pode ser classificada como de salinidade alta, C3 (podendo ser usada somente em plantas com boa tolerância aos sais, não aplicar em solos com deficiência de drenagem) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos).

Fazendo-se o uso da classificação proposta pelo *U. S. SALINITY LABORATORY STAFF*, apresentada por Bernardo et al. (2008), a AP pode ser classificada como de salinidade baixa, C1 (podendo ser utilizada na irrigação da maioria das culturas com pouca probabilidade de ocasionar salinidade) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos). No entanto, a AP apresenta risco severo de redução da infiltração de água no solo devido aos baixos valores de condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio (Ayers & Westcot, 1999).

4.2 APORTE DE NUTRIENTES DAS PROPORÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO

Com base na concentração dos macro e micronutrientes e no volume de água residuária doméstica primária (ARP) e da água de poço (AP) aplicado no solo estimou-

se o aporte de nutrientes durante o período experimental, como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Aporte de nutrientes aplicados ao solo cultivado com cana-de-açúcar

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	-----kg ha ⁻¹ -----									
T1	244	7	329	133	73	1075	2,9	0,6	0,7	0,1
T2	183	5	277	150	80	834	2,8	0,6	0,9	0,2
T3	122	4	184	100	54	556	1,9	0,4	0,5	0,1
T4	61	3	92	50	26	278	0,9	0,3	0,3	0,1
T5	-	-	39	60	33	36	0,8	0,2	0,5	0,1

Nota: T1 - 100% de ARP e 0% de AP; T2 - 75% de ARP e 25% de AP, T3 - 50% de ARP e 50% de AP, T4 - 25% de ARP e 75% de AP e T5 - 0% de ARP e 100% de AP (testemunha).

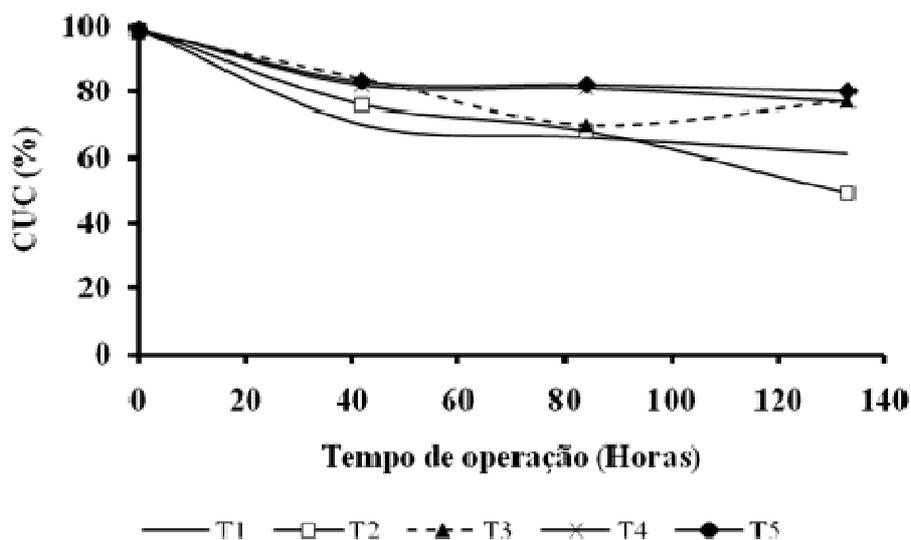
No tratamento T1 (somente esgoto doméstico tratado) ocorreram os maiores aportes de nutrientes, com exceção do cobre. Nesse tratamento os aportes foram de 244 kg de nitrogênio por hectare, 7 kg de fósforo por hectare, 329 kg de potássio por hectare, 133 kg de cálcio por hectare, 73 kg de magnésio por hectare, 2,9 kg de ferro por hectare, 0,6 kg de manganês e 0,7 kg de zinco. Entretanto, os menores aportes de nutriente ocorreram no tratamento T5 somente com água de poço.

Deve-se ressaltar que os aportes de sódio nos tratamento T1 a T4 foram elevados oscilando de 278 a 1075 kg por hectare. A acumulação de sódio no solo pode afetar a estrutura do solo por meio da dispersão das argilas reduzindo aeração e infiltração de água, ocasionando a sua degradação.

A CFSEMG (1999) recomenda para adubação de fundação da cana-de-açúcar, com produtividade superior a 120 toneladas por hectare, a aplicação de 23, 45 e 68 kg e de 66, 100 e 133 kg para as situações de boa, média e baixa disponibilidade de fósforo e potássio no solo. Não existe necessidade de se fazer a aplicação de nitrogênio no plantio da cana-de-açúcar. A adubação de cobertura com este nutriente é baseada na experiência da usina/produtor e do histórico das áreas. Quando for necessário, recomenda-se aplicar até 60 kg por hectare de nitrogênio, dependendo da produtividade esperada. Constatou-se que as demandas por nitrogênio e potássio são plenamente atendidas pelos tratamentos T1 e T2, somente o fósforo necessita de complementação com adubação química quando da fertirrigação com esgoto doméstico tratado.

4.3 DESEMPENHO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO

Verificou-se, na Figura 9, que os valores médios do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), no tempo inicial (0 Horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram de 99, 99, 98, 99 e 99%, respectivamente. Segundo a classificação proposta por Merriam & Keller (1978), todos os valores de CUC, no tempo inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes.



$$\hat{CUC} = 101,0540 - 0,1439 \cdot ARP - 0,2140 \cdot T \quad R^2 = 0,73$$

Nota: ** e ⁰ significativo à 1 e 10%, respectivamente, pelo teste “t”.

T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

Figura 9 - Superfície de resposta da variável dependente CUC em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).

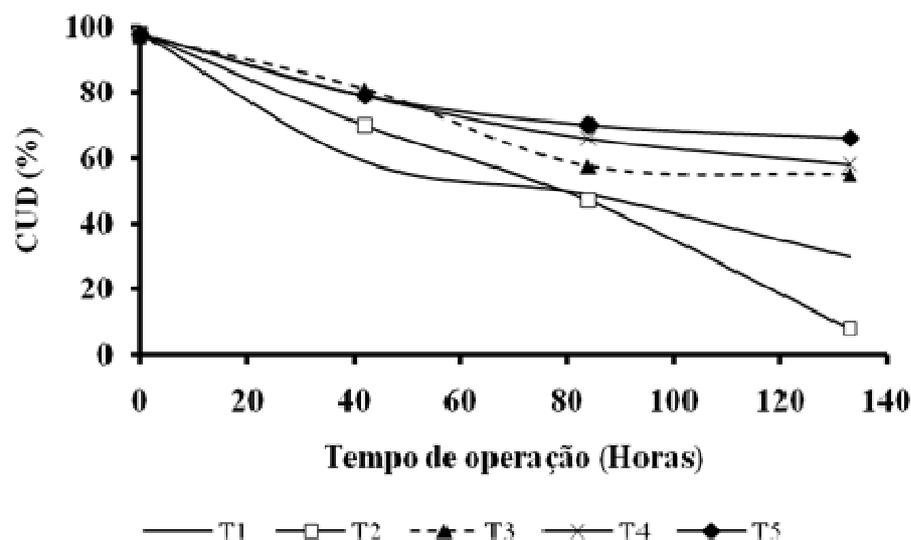
Observou-se, após 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, que os valores de CUC reduziram para 61, 49, 77, 77 e 80%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim

(CUC < 70%), ruim, razoável (70% < CUC < 80%), razoável e razoável. Esses resultados diferem dos obtidos por Costa (2012) que obteve o CUC de unidades de irrigação por gotejamento operando com proporções de água residuária doméstica primária e água de poço, devido provavelmente a variação das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária. O referido autor notou que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, que os valores de CUC reduziram para 54, 47, 72, 72 e 87%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim, ruim, razoável, razoável e bom.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final, evidenciou-se redução nos valores do CUC de 39, 50, 22, 22 e 19% para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. No trabalho realizado por Costa (2012) as reduções nos valores de CUC foram de 44, 51, 25, 25 e 11% para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Batista et al. (2010) afirmaram que houve redução de 5% no valor do CUC das unidades de irrigação montadas em campo e operando com esgoto doméstico terciário, durante 120 horas.

Evidenciou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores do CUC, tendo coeficiente de determinação o valor de 0,73. Entretanto, Costa (2012) observou que houve efeito quadrático das proporções de água residuária doméstica primária, linear do tempo de funcionamento e da interação proporções de água residuária doméstica primária e tempo de funcionamento nos valores do CUC, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,91.

Na Figura 10 constatou-se que os valores médios do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), no tempo inicial (0 Horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram de 98, 98, 97, 98 e 98%, respectivamente. Evidenciou-se que todos os valores de CUD, no tempo inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como excelentes.



$$\hat{CUD} = 96,4885 + 0,1515^0 ARP - 0,001645^0 ARP^2 - 0,4278^{**} T + 0,001637^{**} T^2 - 0,005614^{**} ARP.T + 0,00002031^* ARP^2.T \quad R^2 = 0,91$$

Nota: ^{**} e ⁰ significativo à 1, 5 e 10% pelo teste “t”.

T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

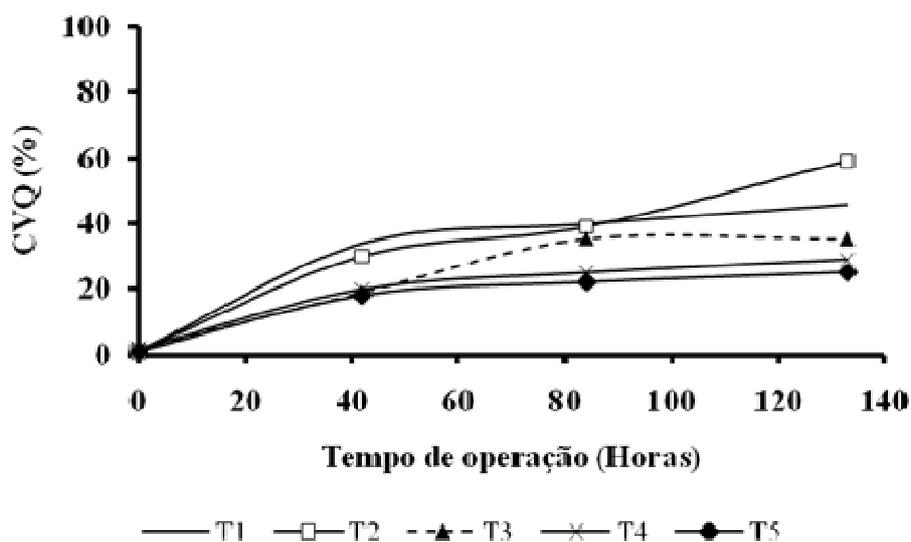
Figura 10 - Superfície de resposta da variável dependente CUD em relação às variáveis independentes proporções de água residuária de origem doméstica (ARP) e tempo de funcionamento (T).

Decorrida 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, observou-se que os valores de CUD decresceram para 30, 8, 55, 58 e 66%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim (CUC < 70%), ruim, ruim, ruim e ruim. Semelhantemente Costa (2012) notou que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, os valores de CUC reduziram para 25, 9, 47, 57 e 78%, respectivamente, sendo classificados por Merriam & Keller (1978) como ruim, ruim, ruim, ruim e razoável.

Comprando os tempos de operação inicial e final, constatou-se redução nos valores do CUD de 69, 91, 44, 41 e 33% nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Essas reduções foram superiores ao valor de 11% obtido por Batista et al. (2010) em unidades de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico terciário, durante 120 horas. No trabalho conduzido por Costa (2012) constatou-se redução nos valores do CUD de 74, 90, 50, 40 e 18% nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, quando os tempos de operação inicial e final foram comparados.

Observou-se que houve efeito quadrático tanto das proporções de água residuária doméstica primária quanto do tempo de funcionamento e das interações proporções de água residuária de origem doméstica e tempo de funcionamento nos valores do CUD, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,91. Entretanto, Costa (2012) obteve uma superfície onde houve efeito quadrático das proporções de água residuária doméstica primária, linear do tempo de funcionamento e da interação proporções de água residuária de origem doméstica e tempo de funcionamento nos valores do CUD, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,93.

Notou-se, na Figura 11, que os valores médios do coeficiente de variação de vazão (CVQ), no tempo inicial (0 Horas) das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T4 e T5 foram de 1, 1, 2, 2 e 1%, respectivamente. Constatou-se que todos os valores de CVQ, no tempo inicial, foram inferiores a 10%, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003) como bons.



$$\hat{CVQ} = -0,01374 + 0,001633^{**} \text{ ARP} + 0,002708^{**} \text{ T} \quad R^2 = 0,80$$

Nota: ** significativo à 1% pelo teste “t”.

T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

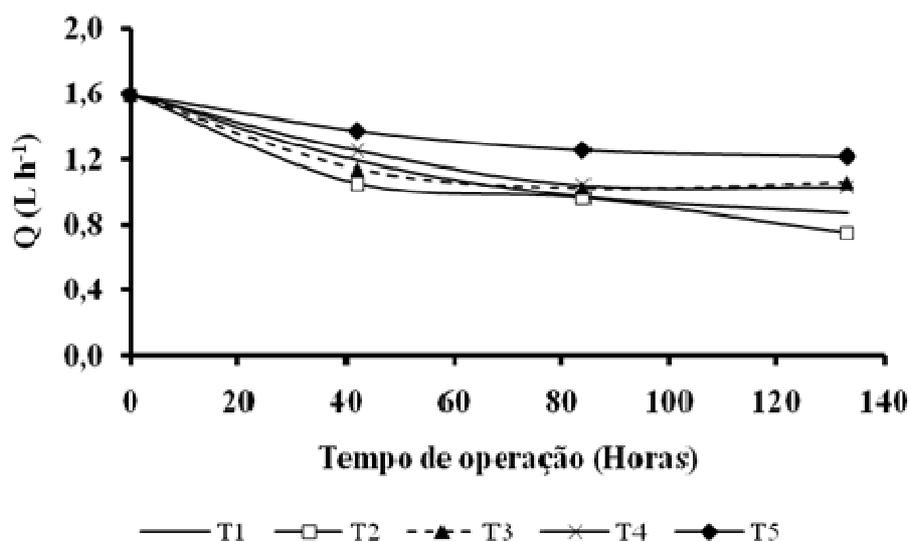
Figura 11 - Superfície de resposta da variável dependente CVQ em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).

Após 133 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, observou-se que os valores de CVQ aumentaram para 46, 59, 35, 29 e 25%, respectivamente, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (Asae Standards, 2003) como inaceitável ($> 20\%$), inaceitável, inaceitável, inaceitável e inaceitável. Esses resultados foram similares aos de Costa (2012) que após 91 horas de operação das unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, verificou-se que os valores de CVQ aumentaram para 54, 57, 38, 33 e 17%, respectivamente, sendo classificados pela norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003) como inaceitável, inaceitável, inaceitável, inaceitável e razoável.

Estabelecendo comparação entre os tempos inicial e final, notou-se aumento nos valores do CVQ de 33, 49, 22, 16 e 21 vezes nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Já no estudo conduzido por Costa (2012) também notou-se aumento nos valores do CVQ de 14, 14, 8, 9 e 5 vezes nas subunidades de irrigação sob os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.

Evidenciou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores do CVQ, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,80. Resultado similar foi obtido por Costa (2012) que também constatou efeito linear das proporções de água residuária doméstica primária e do tempo de funcionamento nos valores do CVQ, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,85.

Comprando os tempos de operação inicial e final da Figura 12, constatou-se redução nos valores de Q de 46, 53, 33, 35 e 24% nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Essas reduções foram superiores ao valor de 5% obtido por Batista et al. (2010) em unidades de irrigação por gotejamento montadas em campo e operando com esgoto doméstico terciário durante 120 horas. Além disso, Costa (2012) evidenciou redução nos valores de Q de 23, 54, 32, 30 e 13% nas unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.



$$\hat{Q} = 1,5988 - 0,002143^{**} \text{ ARP} - 0,004428^{**} \text{ T} \quad R^2 = 0,78$$

Nota: ** e ⁰ significativo à 1 e 10%, respectivamente, pelo teste “t”.

T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

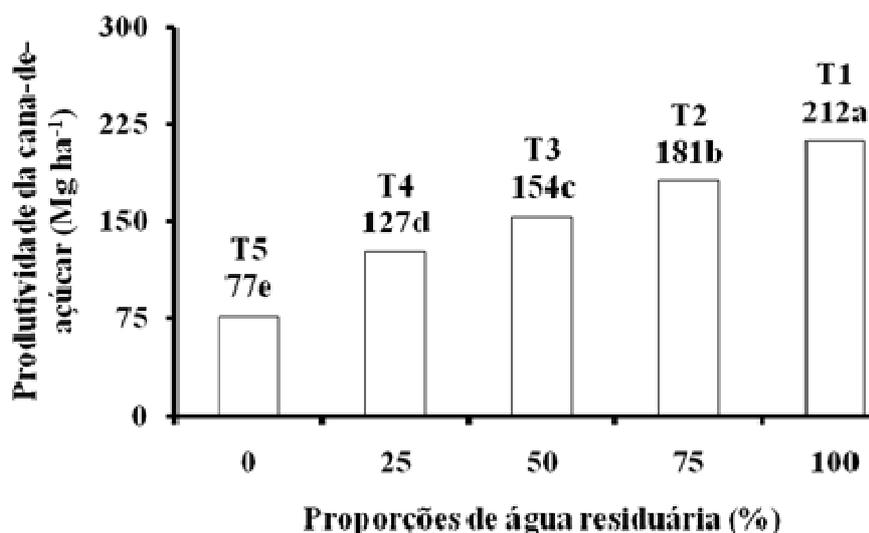
Figura 12 - Superfície de resposta da variável dependente Q em relação às variáveis independentes proporções de água residuária doméstica primária (ARP) e tempo de funcionamento (T).

Observou-se que houve efeito linear tanto das proporções de água residuária de origem doméstica quanto do tempo de funcionamento nos valores de Q, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,78. Resultado similar foi obtido por Costa (2012) que houve efeito linear das proporções de água residuária doméstica primária e do tempo de funcionamento nos valores de Q, tendo coeficiente de determinação no valor de 0,71.

Os maiores níveis de entupimento de gotejadores foram constatados nos tratamentos T2 e T1, corroborando com os resultados obtidos por Costa (2012) em estudo do desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com água residuária doméstica primária e água de poço. O entupimento dos gotejadores se deve provavelmente à interação entre sólidos suspensos e coliformes totais que possibilitou o desenvolvimento de biofilme no interior dos emissores e das linhas laterais, acarretando a redução da vazão dos gotejadores, bem como o aumento do coeficiente de variação de vazão (CVQ) e a redução dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD).

4.4. PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO

A colheita da cana-de-açúcar variedade RB 867515 ocorreu 153 dias após o plantio, no primeiro ano de produção em 2012. Evidenciou-se, na Figura 13, que houve diferença estatística entre as produtividades da cana-de-açúcar em todos os tratamentos.



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada proporção de esgoto doméstico tratado não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Figura 13 - Valores médios da produtividade da cana-de-açúcar em função das proporções de água residuária doméstica e água de poço.

O aumento na proporção de água residuária doméstica primária incrementou a produtividade da cana-de-açúcar até atingir o maior valor no tratamento T1 (212 Mg ha⁻¹). Esse foi inferior a produtividade média de 257,7 Mg ha⁻¹ obtida por Freitas et al. (2013) para a cana-de-açúcar variedade SP71-6949 irrigada com água residuária tratada. Gomes et al. (2009) constataram, por meio da análise foliar, que o esgoto doméstico tratado utilizado como fonte hídrica supriu totalmente as necessidades nutricionais de fósforo e enxofre da cultura da cana-de-açúcar. Enquanto, o tratamento T5 (77 Mg ha⁻¹) apresentou a menor produtividade. A produtividade média da cana-de-açúcar no Brasil e no estado do Rio Grande do Norte é de 79 Mg ha⁻¹ e 60 Mg ha⁻¹, respectivamente (AGRIANUAL, 2012).

Segundo Demattê e Demattê (2009), a variedade de cana-de-açúcar RB 867515 cultivada em Neossolo Quartizarênico irrigado possibilitou produtividade de 112 toneladas por hectare na Usina Quatá em São Paulo. No trabalho conduzido por Dalri &

Cruz (2008) com a variedade de cana-de-açúcar RB 72454, fertirrigada com 150% da necessidade nutricional da planta por nitrogênio e potássio, a produtividade alcançou uma valor de 190 Mg ha⁻¹.

4.5 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DAS FOLHAS DA CANA-DE-AÇÚCAR PRODUZIDAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO

Após 153 dias de aplicação de água residuária domésticas primárias nas parcelas experimentais notaram-se maiores níveis populacionais de coliformes termotolerantes nas folhas da cana-de-açúcar dos tratamentos T1 e T2, os quais aplicaram as maiores proporções de água residuária (Tabela 11). Fonseca (2000) trabalhou com a aplicação de esgoto sanitário em rampas de escoamento superficial cultivadas com capim-coastcross. O referido autor no máximo 1 coliforme termotolerante por grama de forragem, após o sistema ser paralisado por sete dias.

Tabela 11 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes presentes nas folhas da cana-de-açúcar coletadas nas parcelas sob distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas

Indicador microbiológico	Tratamentos				
	T5	T4	T3	T2	T1
Coliformes termotolerantes (UFC g ⁻¹)	1,0x10 ¹	1,0x10 ¹	1,1x10 ¹	2,2x10 ³	2,6x10 ³

Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP). UFC - unidades formadoras de colônias.

Nos tratamentos T3, T4 e T5 os níveis populacionais de coliformes termotolerantes foram semelhantes e menores em relação aos tratamentos T1 e T2. Somente os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram níveis microbiológicos inferiores ao limite de 1 x 10² UFC g⁻¹ estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001). A presença dos coliformes termotolerantes nas folhas de cana-de-

açúcar deve-se a disposição da água residuária no solo, possibilitando a dispersão dos agentes patogênicos pelo vento e por insetos.

4.6 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DE SOLO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA PRIMÁRIA E ÁGUA DE POÇO

Nas amostras de solo dos tratamentos T1 a T4 foram encontrados elevados níveis populacionais de coliformes termotolerantes devido à aplicação superficial da água residuária e ao tipo de tratamento (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores médios do nível populacional de coliformes termotolerantes presentes na camada superficial do solo (0 a 0,20 m) submetido a distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas cultivadas cana-de-açúcar

Indicador microbiológico	Tratamentos				
	T5	T4	T3	T2	T1
Coliformes termotolerantes (UFC g ⁻¹)	1,7x10 ¹	1,7x10 ³	3,9x10 ³	6,9x10 ³	2,7x10 ⁴

Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP). UFC - unidades formadoras de colônias.

Esse resultado difere do obtido por Oliveira et al. (2013) que ao irrigarem moranga com água residuária doméstica tratada não identificaram a presença de coliformes termotolerantes na casca da curcubitácia. Al-Nakshabandi et al. (1997), observaram que o nível populacional de bactérias heterotróficas, na camada de 0,07 a 0,10 m de profundidade é menor que na superfície de um solo que recebeu a aplicação de esgoto sanitário tratado. Relataram, também, que a aplicação desse efluente no solo proporcionou, considerável, aumento no nível populacional dos coliformes fecais em relação ao solo seco. Al-Lahham et al. (2003) analisou a contaminação microbiológica de frutos do tomateiro fertirrigados com esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por sulcos. Os níveis populacionais de coliformes fecais, na casca do fruto, oscilaram de 1,3 a 3 UFC por grama, porém nenhum coliforme fecal foi detectado na polpa do fruto.

Os níveis populacionais de coliformes fecais presentes em solos fertirrigados com esgoto doméstico podem ser eliminados com a interrupção do fornecimento do efluente por alguns dias. Segundo Rocha et al. (2003), após 54 dias da aplicação de esgoto sanitário tratado, não foram identificados coliformes fecais no solo.

Os solos dos tratamentos T1 a T4 apresentaram a presença de ovos de helmintos, sendo os maiores valores observados nos tratamentos T1 e T2 (Tabela 13). Segundo Rocha et al. (2003), após 60 dias da aplicação de esgoto sanitário tratado, não foram mais encontradas amostras positivas com ovos de helmintos, apesar do alto grau de contaminação inicial. Léon Suematsu & Cavallini (1999) afirmaram que os microrganismos podem sobreviver por períodos mais longos no solo do que nas superfícies das culturas, devido à maior exposição aos raios solares.

Tabela 13 - Valores médios do nível populacional de ovos de helmintos presentes na camada superficial do solo (0 a 0,20 m) submetido as distintas proporções de água residuária e água de poço, após 153 dias irrigação das parcelas cultivadas cana-de-açúcar

Indicador microbiológico	Tratamentos				
	T5	T4	T3	T2	T1
Ovos de helmintos (ovo g ⁻¹)	0	1	3	4	6

Nota: T1 (100% de água residuária doméstica primária-ARP e 0% de água de poço-AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

4.7 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM RELAÇÃO AO MÉTODO CONVENCIONAL

Na Tabela 14 estão apresentados os custos de produção da cana-de-açúcar em Apodi-RN, no sistema convencional e com água residuária doméstica. Verificou-se, nessa tabela, que o custo de produção por hectare da cana-de-açúcar em Apodi-RN foi de R\$ 6127,76 e R\$ 2719,36 para sistemas convencional e com reuso de água, respectivamente, indicando que o aproveitamento agrícola da água residuária doméstica tratada possibilita redução de 56% nos custos de produção da cultura, em função da não

utilização de insumos agrícolas tais como fertilizantes e agrotóxicos, além ainda de reduzir a utilização de água limpa.

Tabela 14 - Custos de produção da cana-de-açúcar em Apodi-RN, no sistema convencional e com água residuária doméstica

Item de despesa	Sistema convencional (R\$ ha⁻¹)	Sistema com reuso (R\$ ha⁻¹)
1.1. Preparo do solo	635,36	635,36
1.2. Plantio	3832,76	500,00
1.3. Mão-de-obra	868,00	868,00
1.4. Controle de insetos pragas	75,64	-
1.5. Mecanização	716,00	716,00
Total	6127,76	2719,36

5. CONCLUSÕES

Na água residuária doméstica primária os atributos pH, condutividade elétrica e ferro total representam risco moderado de obstrução de gotejadores, enquanto o atributo sólidos suspensos apresenta risco severo. Para a água de poço somente o ferro total apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores, os demais atributos (pH, condutividade elétrica, coliformes totais, sólidos suspensos, manganês total, cálcio e magnésio) não representam risco de obstrução.

Os maiores níveis de entupimento de gotejadores foram constatados nos tratamentos T2. Provavelmente a formação de biofilme resultante da interação entre sólidos suspensos e coliformes totais possibilitou a obstrução do interior dos gotejadores e das linhas laterais, acarretando a redução da vazão dos gotejadores, bem como o aumento do coeficiente de variação de vazão e a redução dos coeficientes de uniformidade de Christiansen e de uniformidade de distribuição.

Houve aumento da produtividade da cana-de-açúcar com os incrementos nas proporções de água residuária doméstica primária em relação a água de poço. Sendo a maior produtividade alcançada no tratamento T1 em função do maior aporte de nitrogênio e potássio.

Nos tratamentos T1 e T2 ocorreram os maiores riscos microbiológicos tanto nas folhas de cana-de-açúcar quanto no solo irrigado.

O tratamento T3 foi o mais indicado para produção da cana-de-açúcar, devido à minimização de efeitos de obstrução de gotejadores, boa produtividade e menor risco microbiológico do produto agrícola.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993, 15p.
- AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. 17. ed. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 2012. 303 p.
- Al-Lahham, O.; El-Assi, N. M.; Fayyad, M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management*, v. 61, p. 51-62, 2003.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298p.
- Almeida, O. T. Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- Al-Nakshabandi, G. A.; Saqqar, M. M.; Shatanawi, M. R.; Fayyad, M.; Al-Horani, H. Some environmental problems associated with the use of the wastewater for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management*, v.34, p. 81-94, 1997.
- Araújo Júnior, O. Saneamento ambiental e qualidade de vida. EcoTerra Brasil, São Paulo. 2004. Disponível em: < www.ecoterrabrasil.com.br > Acesso em: 18 de nov. 2013.
- ASAE Ep 405. Design and installation of microirrigation systems. ASAE Standards, St. Joseph, p. 900-905, 2003.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A.; Santos, D. B.; Mesquita, F. O.; Silva, K. B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura. *Water Resources and Irrigation Management*, v.2, p.19-25, 2013.
- Batista, R. O.; Sartori, M. A.; Soares, A. A.; Moura, F. N.; Costa Paiva, M. R. F. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com esgoto doméstico. *Revista Ambiente e Água*, v. 6, p. 152-164, 2011.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. *Revista Ceres*, v.57, p. 18-22, 2010.

- Batista, R. O.; Soares, A. A., Olga, L. Z. M.; Souza, J. A. R.; Leite, C. V.; Moreira, D. A. Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, v. 62, p. 4957-4966, 2009.
- Batista, R. O. Desempenhos de sistemas de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura. Viçosa: UFV, 2007. 146p. Tese de Doutorado
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Santos, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} e a salinidade total. *Revista Ceres*, v.53, p.394-398. 2006.
- Batista, R. O.; Lo Monaco, P. A.; Matos, A. T.; Cunha, F. F. Alteração na vazão de gotejadores tipo fita utilizados na aplicação de água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro. *Engenharia na Agricultura*, v.13, p.69-73, 2005.
- Benet, C. G. S.; Buzetti, S.; Silva, K. S.; Teixeira Filho, M. C. M.; Garcia, C. M. P.; Maestrello, P. R. Produtividade e desenvolvimento da cana- planta e soca- em função de doses e fontes de manganês. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35 p. 1661-1668, 2011.
- Bernardo, S.; Soares, A.A; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.
- Bertoncini, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, v.1, n.2, p.152-169, 2008.
- Braga, B.; HespanhoL, I.; Conejo, J. G. L.; Mierzwa, J. C.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. Introdução a engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.
- Brandão, A. Cana-de-açúcar: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil. Brasília: Editora Horizonte, 1985. 269p.
- Branco, S. M.; Cleary, E. W.; Coimbra, R. M.; Eiger, S.; Luca, S. J.; Nogueira, V. P. Q.; Porto, M. F. A. Hidrologia Ambiental. São Paulo: USP/ ABRH, 1999. 325 p.
- BRASIL. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. A questão da água no Nordeste. Brasília: CGEE, 2012. 436p.

- BRASIL. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011a. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial, Brasília, 2011a. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2013.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2011b). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011b. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 16 nov. 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Abastecimento Urbano de Água. Brasília: ANA, 2010a. 72p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. Caderno de Informações de Saúde. Brasília, 2010b. Disponível em: < <http://tabnet.datasus.gov.br/tabdata/cadernos/cadernosmap.htm> > Acessado em 19 fev. 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2009a). Resolução nº 410, de 04 de maio de 2009a. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Brasília, 2009a. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 16 nov. 2013.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2009b). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009b. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009b. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 16 nov. 2013.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. Brasília: FUNASA, 2006. 408 f.

- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (2005a). Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, 2006. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf> Acesso em: 18 fev. 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2005b). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 16 nov. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Manual de saneamento. Brasília: FUNASA, 2004. 328p.
- BRASIL. Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>. Acessado em: 21 dez. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 326 de 30 de julho de 1997. Regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e boas práticas de fabricação. Brasília, 1997. Disponível em: < www.bioqualitas.com.br/arquivos/legislacao/326.pdf > Acesso em: 15 fev. 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 1428 de 26 de novembro de 1993. Regulamento técnico para Inspeção Sanitária de Alimentos. Brasília, 1993. Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br> > Acesso em: 15 fev. 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (1986). Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 16 nov. 2013.

- Capra, A.; Scicolone, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 68, p.135-149, 2004.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p.355-365, 1998.
- Carvalho, S. A.; Adolfo, L. G. S. O direito fundamental ao saneamento Básico como garantia do mínimo Existencial social e ambiental. *Revista Brasileira de Direito*, v. 8, p.6-37, 2012.
- CEARÁ. Portaria nº154, de 22 de Julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, Fortaleza, 2002. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 28 dez. 2013.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Índice de qualidade das águas. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov>> Acessado em: 29 nov. 2013.
- CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5. ed. Lavras: CFSEMG, 1999. 359 p.
- Coleti, J. T.; Casagrande, J. C.; Stupiello, J. J.; Ribeiro, L. D.; Oliveira, G. R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolo, variedades RB 8354 e SP813259. *Revista STAB - Açúcar, Álcool e subprodutos*, v. 24, p.32-36, 2006.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2013.
- Costa, F. G. B. Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol no assentamento Milagres, Apodi-RN. Mossoró: UFERSA, 2012, 92p. Dissertação de Mestrado
- Cunha, A. H. N.; Oliveira, T. H.; Ferreira, R. B.; Milhardes, A. L. M.; Silva, S. M. C. O. Reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. *Enciclopédia Biosfera*, v.7, p. 1225-1247, 2011.

- Dalri, A. B.; Cruz, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com n e k via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v. 28, p.516-524, 2008.
- Daltro Filho, J. Saneamento ambiental: doença, saúde e o saneamento da água. São Cristóvão: Editora da UFS, 2004. 331 p.
- Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. Análise química do solo: Metodologia. Viçosa: UFV, 1981. 17p.
- Demattê, J. L. L.; Demattê, J. A. M. Ambientes de produção como estratégia de manejo na cultura da cana-de-açúcar. *Informações Agronômicas*, n. 127, p.10-18, 2009.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiábaut, J. T. L.; Sedyama, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, p. 155-162, 1980.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 412p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- Faria, L. F.; Coelho, R. D.; Flecha, P. A. N.; Robles, W. G. R.; Vásquez, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.195-198, 2002.
- Feigin, A.; I. Ravina; J. Shalhevet. Irrigation with Treated Sewage Effluent Management for Environmental Protection. Alemanha: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- Feitosa, T.; Garruti, D. S.; Lima, J. R.; Mota, S.; Bezerra, F. M. L.; Aquino, B. F.; Santos, A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reuso de água de esgoto doméstico tratado. *Revista Tecnologia*, v. 30, p.53-60, 2009.
- Florencio, L.; Bastos, R. K. X.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427p.
- Freitas, C. A. S.; Silva, A. R. A.; Bezerra, F. M. L.; Mota, F. S. B., Gonçalves, L. R. B.; Barros, E. M. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, p. 727-734, 2013.

- Freitas, C. A. S.; Silva, A. R. A.; Bezerra, F. M. L.; Ferreira, C. DA S.; Andrade, R. R. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. *Conexões: Ciência e Tecnologia*, v.6, p. 27-43, 2012.
- GOOGLE EARTH 7.0.2 Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 28 dez. 2013.
- Gomes, T. M.; Melfi, A. J.; Montes, C. R.; Silva, E.; Sundefeld Júnior, G. C.; Deon, M. D.; Piveli, R. P. Aporte de nutrientes e estados nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. *Revista DAE*, v.60, p.19-25, 2009.
- Hamerski, F. Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar. Curitiba: UFPR, 2009, 148p. Dissertação de Mestrado
- HespanhoL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos avançados*, v.22, p. 131-158. 2008.
- Hills, D. J.; Brenes, M. J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. *Applied Engineering in Agriculture*, v.17, p.303-308, 2001.
- Hills, D. J.; Tajrishy, M. A.; Tchobanoglous, G. The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. *Transaction of the ASAE*, v.43, p.1499-1505, 2000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção Agrícola. Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, 2013. 83 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 fev. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro, 2010. 219p.
- Jordão, E. P.; Pessoa, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 940p.
- Kobiyama, M.; Mota, A. A.; Corseuil, C. W. Recursos Hídricos e Saneamento. 1 ed. Curitiba: Editora Organic Trading, 2008. 160p.

- Larsen, D. Diagnóstico do saneamento rural através de metodologia participativa. Estudo de caso: bacia contribuinte ao reservatório do rio verde, região metropolitana de Curitiba, PR. Curitiba: UFPR, 2010, 182p. Dissertação de Mestrado
- Lemos, M. Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reuso para produção de girassol ornamental. Mossoró: UFRS, 2011. 172p. Dissertação de Mestrado
- Léon Suematsu, G.; Cavallini, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de: H.R. Gheyi, A. König, B.S.O. Ceballos, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.
- Li Y. K.; Yang P. L.; Ren S.M; Xu T.W. Hydraulic characterizations of tortuous labyrinth path drip irrigation emitter. *Journal of Hydrodynamics*, v.18, p.449–457. 2006.
- Lopez, R.J; Abreu, J.M.H.; Regalado, A.P.; Hernandez, J. F. G. Riego localizado. 2 ed. Madri: Mundi-Prensa, 1997. 405p.
- Loures, A. P. S.; Soares, A. A.; Matos, A. T.; Cecon, P. R.; Pereira, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 706-714, 2006.
- Luz, L. A. R. A. Reutilização da Água: Mais uma chance para nós. Rio de Janeiro: Quality Mark, 2005. 125p.
- Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. Reuso de água. 1 ed. São Paulo: Manole, 2003. 579p.
- Marengo, J. A. Water and climate change. *Estudos Avançados*, v. 22, p.83-96, 2008.
- Matos, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 140p. (Caderno didático n.38).
- Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 271 p. 1978.
- Mota, F. S. B.; von Sperling, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.
- Moura, F. N.; Batista, R. O.; Silva, J. B. A.; Feitosa, A. P.; Costa, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v.8, p. 264-276, 2011.

- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; AYars, J. E.; Nakayama, F. S. Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.
- Oliveira, P. C. P.; Gloaguen, T. V.; Gonçalves, R. A. B.; Santos, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, p.861-867, 2013.
- Ometto, A. R. Discussão sobre fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental. São Carlos: USP, 2000, 255f. Dissertação de Mestrado
- Pilatti, F.; Hinsching, M. A. O. Saneamento Básico Rural na Bacia Hidrográfica do Manancial Alagados. Ponta Grossa: UEPG/SANEPAR, 2008.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. 2010. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/Atlas.aspx>> Acesso em: 21 nov. 2013.
- Puig-Bargués, J.; Arbat, G.; Elbana, M.; Duran-Ros, M.; Barragán, J.; Ramírez De Cartagena, F.; Lamm, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. Agricultural Water Management, v.97, p.883-891, 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, 2010.
- Reinaldo, G. P. B.; Batista, R. O.; Silva, P. C. M.; Lemos Filho, L. C. A.; Ferreira Neto, M. Santos, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. Ambi-Agua, v. 7, p. 62-74, 2012.
- Resende, A. V. Agricultura e qualidade da água: contaminação por nitrato. 1 ed. Documentos/Embrapa Cerrados. Planaltina, 2002. 29p.
- Rheinheimer, D. S.; Gonçalves, C. S.; Pellegrini, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. Ciência e Ambiente, n. 27, p.85-96, 2003.
- Ribas, T. B. C.; Fortes Neto, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. Revista Ambiente & Água, v. 3, p. 81-94, 2008.

- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Clesceri, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.
- RIO GRANDE DO NORTE. Lei Complementar nº 31 de 24 de novembro de 1982. Institui o Código Estadual de Saúde e estabelece normas básicas sobre promoção, proteção e recuperação da saúde, e dá outras providências. Natal, 1982. Disponível em: <http://portal2.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/comunidades/biblioteca_tcu/servi%C3%A7os/normalizacao_publicacoes/REFERENCIAS.pdf> Acesso em: 16 fev. 2014.
- Rocha, F. L. T. Aplicação de índices de qualidade de água para avaliação ambiental de área de futuro uso industrial. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011, 170p. Dissertação de Mestre
- Rocha, A. B.; Baccaro, C. A. D.; Silva, P. C. M.; Camacho, R. G. V. Mapeamento geomorfológico da bacia do Apodi/Mossoró-RN, NE do Brasil. Mercator: Revista de Geografia da UFC, v. 8, p.201-216, 2009.
- Rocha, R. E. M. da; Pimentel, M. S.; Zago, V. C. P. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 38, p. 1435-1441. 2003.
- Rodrigues, R. S. As dimensões legais e institucionais de reúso de água no Brasil: Proposta de regulamentação do reúso no Brasil. São Paulo: USP, 2005, 177p. Dissertação de Mestrado
- Sagi, G.; Paz, E.; Ravina, I.; Schischa, A.; Marcu, A.; Yechiely, Z. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. Proceedings... St. Joseph: ASAE, 1995. p.250-254.
- Sahin, Ü.; Anapali, Ö.; Dönmez, M. F.; Şahin, F. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. Journal of Environmental Management, v.76, p.338-341, 2005.
- Sanches-Roman, R.; Soares, A. A.; Matos, A.T; Sedyama, G. C.; Souza, O.; Mounteer, H. A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. Transactions of the ASABE, v. 50, p. 65-71, 2007.

- Santos, S. S.; Soares A. A.; Matos, A. T.; Mantovani, E. C.; Batista, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. *Engenharia na Agricultura*, v.14, 32-38. 2006.
- Santos, C. G. F.; Lima, V. L. A.; Matos, J. A.; van Haandel, A. C.; Azevedo, C. A. V. Efeito de uso de águas residuárias sobre a vazão de microaspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.577-580, 2003.
- Scherr, S. J., S. Yadav. Land degradation in the developing world: Implications for food, agriculture, and the environment to 2020. Discussion Paper 14. Washington, DC: International Food Policy Research Institute. 1996. 42p.
- Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M.; Mozambani, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Pinto, A. S.; Jendiroba, E. Nóbrega, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 19-36.
- Silva, K. B.; Silva Júnior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B.; Barbosa Filho, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, v. 60, p. 339- 346, 2013.
- Silva, L. P.; Silva, M. M.; Correa, M. M.; Souza, F. C. D.; Silva, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.480-486, 2012a.
- Silva, T. G. F.; Moura, M. S. B.; Zolnier, S., Soares, J. M., Vieira, V. J. S.; JÚNIOR, G. F. W. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Grande*, v. 16, p.64-71, 2012b.
- Silva, A. B.; Dantas Neto, J.; Farias, C. H. A.; Azevedo, C. A. V. Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. *Revista Caatinga*, v.22, p.236-241, 2009.
- Silva, G. H. R.; Nour, E. A. A. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.268-275, 2005.
- Soares, T. M.; Iran J. Silva, J. O.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.730-737, 2006.

- Sousa, J. T.; Ceballos, B. S. O.; Henrique, I. N.; Dantas, J. P.; Lima, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.89-96, 2006.
- Sousa, J. T.; Leite, V. D. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura. Campina Grande: EDUEP, 2003. 135p.
- Taylor, H. D.; Bastos, R. K. X.; Pearson, H. W.; Mara, D. D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: Solving the problem of emitter fouling. *Water Science Technology*, v. 31, p. 417-424, 1995.
- Teixeira, J. C.; Guilhermino, R. L. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados indicadores e dados básicos para a saúde 2003–IDB 2003. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.11, p. 277-282, 2006.
- Tonetti, A. L.; Filho, B. C.; Stefanutti, R. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, p. 209-218, 2005.
- UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. 2013. Disponível em: <http://www.unica.com.br/documentos.php>. Acessado em : 22 dez. 2013.
- van der Hoek, W.; Hassan, U. M.; Ensink, J. H. J.; Feenstra, S.; Raschid-Sally, L.; Munir, S.; Aslam, R.; Alim, N.; Hussain, R.; Matsuno, Y. Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo: International Water Management Institute, 2002. 29 p. (Research Report, 63)
- van Haandel, A. C. E.; Lettinga, G. Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Editora Epgraf, 1994. 240p.
- Vasconcelos, J. N. Derivados da cana-de-açúcar. *Revista STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, v. 20, p. 16-18, 2002.
- von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 452p.
- WHO. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva: World Health Organization, v. 2, 2006. 196p.

APÊNDICE

Tabela 15 - Análise de variância dos valores de Q, CVQ, CUD e CUC no esquema de parcelas subdivididas no delineamento em blocos casualizados

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio			
		Q	CVQ	CUD	CUC
Bloco	4	0,0011	0,000019	14,30	9,98
Proporções de esgoto doméstico (P)	4	0,20**	0,095**	2051,96**	757,82**
Resíduo (a)	16	0,00027	0,00004	0,12	0,30
Tempo de amostragem (T)	3	1,86**	0,67**	13730,65**	4366,70**
P x T	12	0,034**	0,019**	562,74**	204,42**
Resíduo (b)	60	0,00029	0,00025	1,25	1,38
CV(%) parcela		1,37	2,59	0,51	0,69
CV(%) subparcela		1,42	6,44	1,64	1,47

** e ^{ns} F significativo a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 16 - Análise de variância da produtividade da cana-de-açúcar no delineamento em blocos casualizados

Fonte de variação	Grau de liberdade	Grau de liberdade
Bloco	4	52,76
Proporções de água residuária doméstica (P)	4	13395,06**
Resíduo (a)	16	112,63
CV (%)		7,06

** F significativo a 1% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.