



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

XAILA SANT'ANNA AMARAL

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO E
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM UNIDADES EDUCACIONAIS**

Natal

2015

XAILA SANT' ANNA AMARAL

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO E DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM UNIDADES EDUCACIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Dr. André Luís Calado Araújo
Co-orientador: Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto

Natal
2015

XAILA SANT' ANNA AMARAL

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO E DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM UNIDADES EDUCACIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. André Luís Calado Araújo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Orientador

Prof^o. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Co-orientador

Prof^o. Dra. Adelena Gonçalves Maia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Examinadora Interna

Prof^o. Dr. Jean Leite Tavares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – Examinador Externo

Natal, 23 de outubro de 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus;

A minha mãe, meu anjo de luz;

Ao meu pai acadêmico, professor André Luís Calado Araújo, a quem tenho muito carinho, admiração, respeito e amizade. Agradeço todos os ensinamentos, colaborações, paciência, apoio, orientação e bons momentos;

Ao meu co-orientador, Cícero Onofre de Andrade Neto, pela confiança ofertada, pelos ensinamentos e contribuições para a concretização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida;

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN);

A todos os professores e funcionários do LARHISA;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), pelos recursos disponibilizados para realização deste trabalho;

Aos técnicos e auxiliares de laboratório do IFRN, especialmente a Douglisnilson que sempre esteve disposto a ajudar nas mais diversas situações;

A todas bolsistas que participaram na realização das análises e as quais tenho grande apreço;

Ao meu amor, Carlos Lira, por sempre estar ao meu lado, encorajando-me a seguir em frente. Obrigado pelo amor, carinho, contribuição, paciência e compreensão;

A minha amiga, Ceres Dantas, pelas tardes de estudo cheias de comilanças e fofocas, por todo incentivo e carinho;

A Ruan Teixeira, minha dupla de saneamento;

Aos meus amigos de curso, especialmente Josy, Rudah, Isabelly, Radmila e Maquinhos, pelos dias de estudo, pelas conversas engraçadas e pela amizade;

As minhas irmãs e ao meu pai, por todo suporte, paciência e amor;

A todos os meus amigos que me incentivaram no desenvolvimento deste trabalho;

A todos que de alguma forma contribuíram com esta dissertação.

RESUMO

Em várias regiões do mundo, a atividade de reuso de água cresce como alternativa frente à escassez e inacessibilidade de recursos hídricos, embora seja praticada como instrumento de gestão da qualidade e quantidade da água tanto em lugares secos quanto úmidos. No nordeste brasileiro não tem sido diferente: considerada a região mais vulnerável em termos hídricos, o uso de esgoto e o aproveitamento de água de chuva vêm se configurando como atividades necessárias para conservação deste recurso. Em edificações localizadas em áreas pouco adensadas e/ou desprovidas de rede coletora de esgotos, tem-se utilizado sistemas de tratamento de esgotos de baixo custo e localizados nas próprias unidades produtoras. Embora simples, esses sistemas podem conferir aos efluentes qualidades compatíveis para a sua disposição no solo ou até mesmo para a irrigação. Essa tem sido uma realidade presente em vários campi do IFRN, onde os esgotos são tratados localmente, em unidades simples, e os efluentes, bem como a água captada de chuva, têm sido infiltrados no solo e/ou utilizados para a irrigação de áreas verdes (jardins e campos de futebol). Tais práticas têm contribuído para a diminuição do consumo de água nos respectivos campi. No entanto, dúvidas e preocupações ainda existem quanto ao risco de contaminação dessas áreas e de transmissão de doenças para os habitantes dos campi. Diante dessa problemática, objetivou-se com este estudo avaliar os sistemas de tratamento de esgoto e de aproveitamento de água de chuva nos campi do IFRN, a fim de contribuir para compatibilização do uso racional das águas disponíveis e, assim, servir de modelo para outras unidades educacionais semelhantes. Para isso, foram verificadas, nas unidades do IFRN, as tecnologias de tratamento de esgoto e de captação e armazenamento de água de chuva utilizadas, considerando dimensões, localização, população contribuinte, destino do efluente final das unidades de tratamento de esgoto, o uso da água de chuva, e qualidade das águas. Os sistemas foram avaliados com frequência mensal, de março a setembro de 2014, sendo coletadas amostras do afluente e efluente das estações de tratamento de esgoto e dos reservatórios de água de chuva. Como produto final, destaca-se que a caracterização dos esgotos das unidades educacionais se comportou de modo diferente de esgotos domésticos, e as estações de tratamento apresentando eficiências abaixo do esperado. Em relação ao aproveitamento da água de chuva, verificou-se que a água captada apresentou qualidade compatível para irrigação de áreas verdes. Este trabalho permitiu também, com base na avaliação dos diversos sistemas pesquisados, apresentar proposições gerais para desenvolvimento tecnológico e monitoramento de sistemas de tratamento de esgoto e aproveitamento de água de chuva dos campi e unidades semelhantes.

Palavras-chave: Água de chuva; Tratamento de esgoto; Reúso de água; Unidades educacionais.

ABSTRACT

In various regions of the world, water reuse activity grows as an alternative front to the scarcity and inaccessibility of water resources, although it is practiced as a water quality management tool in both dry and damp places. In northeastern Brazil it hasn't been different: as the most vulnerable region in the national territory, rainwater and sewage utilization are becoming necessary activities for conservation of this resource. In buildings located in places with no sewage system, we have used low-cost sewage treatment systems, located in their respective area. Although simple, these systems may confer to the effluent compatible qualities for its disposal on the ground or even for irrigation. This has been a present reality in various campuses of IFRN where sewage is treated locally in single units, and the effluents and the collected rainwater have been infiltrated into the soil and/or used for irrigation of green areas (gardens and soccer fields). Such practices have contributed to the reduction of water consumption on the campuses. However, questions and concerns still exist regarding the risk of contamination of these areas and disease transmission for the inhabitants of the campuses. Faced with this problem, the objective of this study was to evaluate sewage treatment systems and rainwater use on IFRN campuses in order to contribute to reconcile the rational use of available water and thus serve as a model for other similar educational units. For this we checked, in IFRN units, the sewage treatment technologies and rainwater capture and storage systems, considering size, location, population, final effluent destination (in sewage treatment plants), the use of rainwater, and water quality. The systems were evaluated monthly, from March to September 2014. As a final result, it is emphasized that the characterization of the educational units' sewage behaved differently from domestic sewage; and treatment plants featured lower efficiencies than expected. Regarding the utilization of rainwater, we found that the collected water has compatible quality for irrigation of green areas. This work also allowed, based on the evaluation of the various systems, to present general propositions for technological development and monitoring of sewage treatment systems and rainwater utilization to the campuses and similar units.

Keywords: Rainwater; Sewage treatment; Water reuse; Educational units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um tanque séptico com uma câmara.....	24
Figura 2 - Representação estrutural de um filtro anaeróbio, tanto de fluxo ascendente (lado esquerdo da figura) quanto de fluxo descendente (lado direito da figura).	26
Figura 3- Municípios do Rio Grande do Norte que possuem campi do IFRN.....	31
Figura 4 - Vistas das unidades da ETE no Campus Apodi – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio e wetland; C – filtro biológico, com detalhe do material de suporte; D – reservatório de efluente tratado).....	37
Figura 5 - Vistas das unidades da ETE no Campus Pau dos Ferros – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio e wetland com destaque para a presença de vegetação nas unidades; C – detalhe de tubulação quebrada entre o wetland e reservatório de efluente tratado; D – reservatório de efluente tratado).....	38
Figura 6 - Vistas das unidades da ETE no Campus Currais Novos – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio; C – lagoas de maturação; D – detalhe da lagoa de maturação 3 sem efluente e com vegetação).....	39
Figura 7 - Vistas das ETE no Campus Canguaretama – IFRN (A – ETE 1; B – ETE 2).....	40
Figura 8 - Vistas das unidades da ETE no Campus Caicó – IFRN (A – unidade de tanque séptico e filtro submerso anaeróbio; B – lançamento do efluente final tratado no reservatório de águas de drenagem; C – vista do reservatório de drenagem de águas de chuva com destaque para a presença de vegetação; D – campo de futebol sendo irrigado com a água do reservatório de drenagem).	42
Figura 9 - Vistas das unidades da ETE no Campus Nova Cruz – IFRN (A – ETE 1: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; B: ETE 2: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; C – Reservatório de efluente tratado e águas pluviais; D – Vista do campo de futebol que é irrigado com a mistura do efluente tratado e água de chuva).....	43
Figura 10 - Vistas das unidades da ETE no Campus São Paulo do Potengi – IFRN (A – ETE 1: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; B – ETE 2: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio).	44
Figura 11 - Vistas das unidades da ETE no Campus Ceará Mirim – IFRN (A – Vista da ETE 1; B – Vista da ETE 2).....	45
Figura 12 - Vistas das unidades da ETE no João Câmara – IFRN (A – área geral onde está localizado o sistema de tratamento; B – vista da área de disposição final do efluente tratado).	46

Figura 13 - Concentrações medianas de turbidez e cor determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.	49
Figura 14 - Concentrações medianas de DQO e sólidos suspensos de terminadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.	49
Figura 15 - Eficiências de remoção de turbidez, cor, DQO e sólidos suspensos.	50
Figura 16 - Concentrações medianas de amônia determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.	51
Figura 17 - Concentrações medianas de coliformes termotolerantes determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.	51
Figura 18 - Dispositivo para desvio automático das primeiras águas das chuvas.	67
Figura 19 - Municípios do Rio Grande do Norte que possuem campi do IFRN.	70
Figura 20 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Canguaretama (a – prédio principal; b – ginásio).	77
Figura 21 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Ceará-Mirim (a – vista geral; b – detalhe do extravasor e vasos comunicantes).	77
Figura 22 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de São Paulo do Potengi (a – captação do prédio principal; b – captação do ginásio de esportes).	78
Figura 23 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Currais Novos (a – reservatório; b – reservatório; c – reservatório elevado; d – detalhe das calhas de captação).	79
Figura 24 - Vista dos filtros instalados a montante dos reservatórios no campus de Currais Novos.	79
Figura 25 - Concentrações medianas de turbidez e cor nas amostras de água de chuva.	81
Figura 26 - Concentrações medianas de condutividade e sólidos totais dissolvidos nas amostras de água de chuva.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de uso de água para irrigação com base na sodicidade.	34
Tabela 2 - Faixas de variação das concentrações medianas de variáveis relacionadas as concentrações de sais dissolvidos no esgoto bruto (EB) e efluente tratado (ET). ...	50
Tabela 3 - Características medianas dos efluentes tratados (ET) e misturados com as águas de chuva (RAE – reservatório de água de chuva e esgoto tratado).	53
Tabela 4 - Valores da razão de adsorção de sódio (RAS) dos reservatórios de água de chuva e esgoto tratado.....	53
Tabela 5 - Precipitações mensais médias nos municípios com campi do IFRN que coletam água de chuva.....	74
Tabela 6 - Áreas de cobertura dos prédios nos quatro campi avaliados.	75
Tabela 7 - Dados sobre o consumo de água 11 campi do IFRN.....	76
Tabela 8 - Unidades do IFRN com sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva....	80
Tabela 9 - Estimativas de volumes de reservação de demandas de consumo.	80
Tabela 10 - Concentrações medianas de alguns sais nas amostras de águas de chuva.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis analisadas e métodos analíticos utilizados.	33
Quadro 2 - Tecnologias de tratamento individuais utilizadas nos campi do IFRN.	35
Quadro 3 - Recomendações gerais para a melhoria das estações de tratamento.	47
Quadro 4 - Variáveis e método analítico.	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	REFERÊNCIAS	18
2	AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM CAMPI DO IFRN	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	OBJETIVOS	22
2.2.1	Objetivo geral	22
2.2.2	Objetivos específicos	22
2.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.3.1	Sistemas de tratamento de esgotos	23
2.3.1.1	Tanque Séptico	23
2.3.1.2	Filtro Anaeróbio	26
2.3.2	Utilização de águas residuárias	29
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	31
2.4.1	Levantamento de informações sobre os sistemas de tratamento de efluentes	31
2.4.2	Visitas in loco para verificação dos sistemas de tratamento	32
2.4.3	Monitoramento e caracterização dos sistemas de tratamento	32
2.4.4	Avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto e da prática de reúso	33
2.4.5	Análises estatísticas	34
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
2.5.1	Levantamento de informações	35
2.5.2	Visitas in loco	35
2.5.3	Monitoramento	48
2.6	CONCLUSÕES	54
2.7	REFERÊNCIAS	55
3	APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM CAMPI DO IFRN	58
3.1	INTRODUÇÃO	58
3.2	OBJETIVOS	60
3.2.1	Objetivo geral	60
3.2.2	Objetivos específicos	60
3.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	61
3.3.1	Aproveitamento de água de chuva	61
3.3.1.1	Aspecto físico	62
3.3.1.2	Aspecto econômico	64
3.3.1.3	Aspecto prático	65
3.3.1.4	Aspecto sanitário e educativo	66

3.3.2	Sistema integrado de armazenamento de água de chuva	68
3.4	MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.4.1	Levantamento dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva	69
3.4.2	Visitas in loco para verificação dos sistemas	70
3.4.3	Monitoramento e caracterização da água de chuva armazenada	70
3.4.4	Avaliação dos sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de água de chuva	71
3.4.5	Análises estatísticas	73
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
3.5.1	Levantamento dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva	74
3.5.2	Visitas in loco para verificação dos sistemas	76
3.5.3	Monitoramento da qualidade da água de chuva	80
3.6	CONCLUSÕES	84
3.7	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas, a água tem se constituído como um fator indispensável no que tange o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. O nordeste do Brasil, regido por elevadas temperaturas e solos áridos, tem se tornado uma das regiões mais vulneráveis em termos de disponibilidade hídrica. Nesse contexto, a escassez de água tem se caracterizado como um dos principais problemas dessa região, sendo capaz de reduzir a biodiversidade local, bem como limitar as necessidades dos que nela vivem. Diante do exposto, uma alternativa apresentada por diversos estudos tem sido a atividade de aproveitamento de água de chuva (OLIVEIRA, 2008; HEIJNEN, 2012; ANDRADE NETO, 2013) e o uso de esgoto (ROCHA; SILVA; BARROS, 2010; LIMA et al., 2012; SILVA; MEDEIROS; SILVA, 2012).

O aproveitamento imediato de água de chuva, praticada em vários países, vem se apresentando atualmente como uma alternativa importante para promover a economia de água e minimizar os problemas de escassez (OLIVEIRA, 2008). Para Andrade Neto (2013), o uso de cisterna para captação de água de chuva apesar de ser antiga, configura-se como uma tecnologia moderna, sustentável, difusa e socialmente justa, quando se agrega novos conceitos, materiais, técnicas construtivas, segurança sanitária e eficiente aproveitamento. Ademais, a construção de cisternas rurais para guardar água de chuva tem se estabelecido como uma prática natural e intuitiva (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010). Contribuindo com essa temática, Heijnen (2012) considera que o estabelecimento de um sistema de captação de água de chuva apesar de ter valor razoável, apresenta baixo custo de manutenção.

No contexto brasileiro, estudos com focos diferentes vêm demonstrando que o aproveitamento de água de chuva tem promovido resultados satisfatórios. Wernech (2006), mensurando a utilização de água em escola de porte médio, verificou que o consumo de água pode ter redução significativa com o uso de água de chuva. Em outro estudo, o aproveitamento de água de chuva tem sido eficiente em termos qualitativos e quantitativos para irrigação de campo de futebol (OLIVEIRA, 2008), assim como para produção de frutas e hortaliças (BRITO *et al.*, 2010).

Outras alternativas para solucionar as demandas de água têm surgido ao longo dos anos, dentre elas encontra-se a utilização de esgoto. A região do nordeste brasileiro, por exemplo, tem sido caracterizada pela variabilidade climática, o que muitas vezes acentua problemas na agricultura local. Nessa perspectiva o uso de esgoto tem se

apresentado como uma solução no atendimento a demanda de água para irrigação (LIMA *et al.*, 2012).

Em estudo comparativo entre Israel e Brasil, foi verificado que o uso de águas residuárias na agricultura se comporta de maneira diferente. Em Israel, essa atividade tem sido difundida há décadas com tecnologias de tratamento e aplicação avançadas, enquanto que no Brasil não tem apresentado resultados satisfatórios capazes de promover a segurança ambiental (ROCHA; SILVA; BARROS, 2010). Entretanto, estudos, realizados em regiões semiáridas, têm permitido considerar promissor o aproveitamento de efluentes de esgoto doméstico tratado em cultivos agrícolas, otimizando o uso e a proteção dos recursos hídricos, bem como a reciclagem de nutrientes (SILVA; MEDEIROS; SILVA, 2012). Ainda nessa perspectiva, tem-se que a irrigação com águas residuárias tem promovido aumento na produtividade de culturas (LIMA *et al.*, 2012). Frente a essa questão, torna-se necessário investigar e diagnosticar a qualidade desses efluentes, buscando a eficiência dos sistemas de tratamento e/ou direcionamento de possíveis soluções.

O esgoto normalmente tem sido caracterizado por despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, podendo apresentar características de atividades domésticas ou industriais, por exemplo (JORDÃO; PESSOA, 2009). Esse esgoto contém uma grande quantidade de substâncias que podem ser nocivas para o homem e o meio ambiente, tais como matéria orgânica, nutrientes, micro-organismos patogênicos, metais pesados, além de outros (HUSSAIN *et al.*, 2002).

A coleta e o lançamento inadequados de esgotos no meio ambiente podem causar sérios problemas ambientais e sanitários, dentre eles a morte de peixes, devido ao consumo excessivo de oxigênio; a eutrofização, por causa do excesso de nutrientes, sendo o nitrogênio e o fósforo os principais contribuintes (JARVIE; NEAL; WITHERS, 2006); e as doenças de veiculação hídrica, causadas por micro-organismos (BASTOS *et al.*, 2003).

Por outro lado, o planejamento, o projeto, a implantação, a operação, a manutenção e o monitoramento eficiente de um sistema de tratamento de esgoto podem possibilitar o reúso do efluente tratado para as mais diversas atividades, como para agricultura, por exemplo, que é essencial no desenvolvimento do setor agrícola, pois melhora a segurança alimentar e a redução da pobreza (MIZYED, 2013).

As características dos esgotos gerados por uma comunidade dependem dos usos pelos quais a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam

com o clima, situação social e econômica e hábitos da população. Em unidades educacionais, por exemplo, espera-se que o esgoto apresente características predominantemente domésticas, com significativa presença de matéria orgânica, microorganismos e nutrientes, sendo, geralmente, mais diluído que o esgoto sanitário geral da comunidade.

Geralmente, em áreas urbanizadas, existe sistema de esgotamento sanitário com coleta, tratamento e destinação final, os quais geram um custo elevado. Em contrapartida, nas áreas rurais afastadas desses centros urbanos, observa-se a utilização de sistemas localizados (*in loco; on site treatment*), uma vez que essa tecnologia apresenta baixo custo, fácil operação e manutenção. Os efluentes desses sistemas geralmente são destinados ao solo para infiltração, sendo o reúso uma boa alternativa de disposição do efluente. Esta é uma realidade presente na região nordeste do Brasil, onde Silva Filho (2007) investigando o lançamento do efluente de 78 sistemas de lagoas de estabilização do Rio Grande do Norte (RN) constatou que 22 (28%) sistemas lançam o efluente no solo e 10 (13%) utilizam-no para irrigação. Nesse sentido, os campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) que são grandes contribuintes e estão muitas vezes localizados em municípios desprovidos de rede coletora de esgoto, necessitam de sistemas individuais de tratamento e disposição de efluentes.

Os sistemas *in loco* de tratamento de esgotos consistem no lançamento de esgotos gerados pela unidade contribuinte diretamente na unidade de tratamento, isto é, localizada no próprio terreno, usualmente envolvendo a infiltração no solo como medida de disposição final do efluente tratado. Essa solução tem sido satisfatória e economicamente adequada quando a densidade de ocupação é baixa (grandes lotes com elevada porcentagem de área livre e/ou no meio rural) e se o solo apresentar boas condições de infiltração (CORAUCCI FILHO *et al.*, 2001).

Como observado, os efluentes têm sido considerados um problema, embora também sejam visualizados como solução quando utilizados como recurso. Assim, as águas residuárias e os seus teores de nutrientes podem ser amplamente utilizados para a irrigação e outros serviços ecossistêmicos, trazendo benefícios para a comunidade agrícola, a sociedade e os municípios. No entanto, a sua utilização também pode refletir efeitos negativos sobre os seres humanos e os sistemas ecológicos, precisando ser identificados e avaliados (HUSSAIN *et al.*, 2002). Sendo assim, quando os esgotos são bem tratados, os efluentes atingem padrões de qualidade permissíveis de uso, evitando a

contaminação de solos e corpos aquáticos, e contribuindo para a valorização e conservação da água.

Em vários campi do IFRN, devido as suas localizações e a carência de cobertura pelos sistemas de coleta e tratamento de esgotos dos municípios em que estão instalados, a solução individual localizada para a coleta, tratamento e disposição final dos esgotos teve que ser adotada. A tecnologia predominantemente utilizada tem sido o tanque séptico (decanto-digestor) seguido de filtro biológico submerso e disposição no solo. No entanto, devido às características geológicas, geralmente com solos de baixa permeabilidade, a disposição final do efluente tratado através de infiltração requer áreas bem maiores. Já as características climático-hidrológicas, com elevadas taxas de evapotranspiração, baixas precipitações e recursos hídricos escassos, são fatores que justificam a utilização do efluente para atividades de reúso, como a irrigação (CORAUCCI FILHO *et al.*, 2003).

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar os sistemas de tratamento de esgoto e de armazenamento de água de chuva nos campi do IFRN, a fim de contribuir para compatibilização do uso racional das águas disponíveis e, assim, servir de modelo para outras unidades educacionais.

Embora muitos sistemas de tratamento de esgoto e aproveitamento de água de chuva já estejam em operação nos campi do IFRN, até o momento nenhum trabalho específico foi realizado para avaliar a eficiência, operação e manutenção dos sistemas de tratamento de esgoto, e o sistema e a qualidade de água de chuva armazenada. Nessa perspectiva, espera-se que os resultados obtidos possam auxiliar os gestores responsáveis por cada Campus, nas limitações e potencialidades de cada um desses sistemas.

Destaca-se ainda que o IFRN atua na área ambiental/saneamento com os cursos Técnico em Controle Ambiental, Tecnológico em Gestão Ambiental e Especialização em Gestão Ambiental, mestrado profissional em uso sustentável dos recursos naturais e as estações de tratamento de esgotos e os sistemas de aproveitamento de água de chuva podem servir de campo experimental para o desenvolvimento de vários estudos.

1.1 REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.1, n.1, p. 73-86, 2013.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES/RIMA, 2003.

BRITO, L. T. L. et al. **Água de chuva armazenada em cisterna para produção de frutas e hortaliças**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil análises estratégicas**. São Paulo: São Paulo Instituto de Botânica, 2010. cap. 5. p. 1-13.

CORAUCCI FILHO, B. et al. Disposição no solo. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: PROSAB, 2003. cap. 8, p. 337-387.

CORAUCCI FILHO, B. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB. 2001. cap. 2, p. 13-63.

HEIJNEN, H. A captação de água da chuva: aspectos de qualidade da água, saúde e higiene. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MANEJO E CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/forumdemocratico/LinkClick.aspx?fileticket=Zv8iFiAtyTk%3D&tabid=5642>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

HUSSAIN, I. et al. **Wastewater use in agriculture: review of impacts and methodological issues in valuing impacts**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 55 p.

JARVIE, H. P.; NEAL, C.; WITHERS, P.J. A. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus. **Science of the Total Environment**, v. 360, n. 1-3, p. 246-253, 2006.

JODÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

LIMA, V. L. A. et al. Uso agrícola de água residuária: uma visão socioambiental. In: GHEY, H. R. et al. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido; Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. cap. 7. p. 153-177.

MIZYED, N. R. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. **Environmental science & policy**, v. 25, p. 186-195, 2013.

OLIVEIRA, F. M. B. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.** 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 2008.

ROCHA, F. A.; SILVA, J. O.; BARROS, F. M. Reuso de águas residuárias na agricultura: a experiência israelense e brasileira. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.11, p. 1-9, 2010.

SILVA FILHO, P. A. da et al. Identificação em lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte/MG: ABES, 2007. CD-ROM.

SILVA, M. M.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, Ê. F. F. Reuso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano. In: GHEY, H. R. et al. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações.** Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido; Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. cap. 8. p. 178-196.

WERNECK, G. A. M. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí / Guilherme Augusto Miguel Werneck.** Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2006. 283f. Dissertação (mestrado em arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

2 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM CAMPI DO IFRN

2.1 INTRODUÇÃO

A constante disposição de esgotos in natura em solos ou em corpos d'água é uma das maiores causas de poluição e degradação do meio ambiente. Assim, o esgotamento sanitário torna-se essencial para a manutenção da saúde pública e a preservação da qualidade ambiental. Porém, os serviços de esgotamento sanitário ainda são considerados incipientes no Brasil e por isso faz-se necessário à adoção de formas locais de tratamento de esgoto.

Uma forma de tratamento que tem se configurado como uma das alternativas mais antigas de tratamento de esgotos, e ainda hoje tem sido extensivamente empregada em praticamente todos os países do mundo, são os decanto digestores, conhecidos popularmente como, tanques sépticos (CHERNICHARO, 1997).

Os tanques sépticos são constituídos de unidades de forma cilíndrica ou prismática retangular, de fluxo horizontal, sendo destinadas, basicamente, ao tratamento primário de esgotos de residências unifamiliares e de pequenas áreas não servidas por redes coletoras (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Andrade Neto (1997), os tanques sépticos são de fácil execução e operação. Entretanto, o efluente de um tanque séptico contém elevada concentração de organismos patogênicos e matéria orgânica dissolvida, sendo necessário, às vezes, um pós-tratamento (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

Os filtros anaeróbios podem ser utilizados para pós-tratamento porque, complementam o tratamento e possuem capacidade de reter sólidos e de recuperar-se de sobrecargas qualitativas e quantitativas, além de conferir elevada segurança operacional ao sistema e maior estabilidade ao efluente, permanecendo as vantagens do tratamento anaeróbio – produz pouco lodo, não consome energia, tem operação simples e baixo custo (ANDRADE NETO; HAANDEL; MELO, 2002).

Como essa tecnologia é uma boa opção para os locais desprovidos de rede coletora, surge como uma opção essencial para unidades educacionais localizadas no interior do Estado, como nos campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Localizados em lugares com déficit hídrico e visando atender as necessidades, alguns campi tentam reutilizar os efluentes oriundos

de suas estações de tratamento.

Dessa Forma, o efluente dos tanques sépticos pode passar por vários processos de pós-tratamento, inclusive desinfecção, e ser utilizado para reúso (ANDRADE NETO *et al.*, 1999). A reutilização de águas residuárias tem surgido como uma alternativa para reduzir os impactos da escassez e poluição de água, questões crucias no mundo de hoje (JHANSI; MISHRA, 2013).

Embora alguns Campi do IFRN apresentem estações de tratamento de esgoto compostas por tanque séptico e filtro anaeróbio seguido de infiltração no solo ou prática de reúso, nenhum estudo tem buscado avaliar a eficiência, desses sistemas e os padrões físico-químicos e biológicos do efluente que vem sendo reutilizado. Nesse cenário, justifica-se a elaboração da presente pesquisa, de maneira a nortear os próximos passos no tratamento dos esgotos das unidades de ensino bem como incentivar a prática de reúso.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo geral

Avaliar os sistemas de tratamento de esgotos de unidades educacionais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, a fim de contribuir com o melhor funcionamento dos sistemas, com futuros projetos de estações de tratamento, e servir de modelo para outras unidades educacionais.

2.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico dos aspectos físicos e operacionais dos sistemas de tratamento de esgoto;
- Monitorar e caracterizar os esgotos brutos afluentes e efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em cada Campus do estudo;
- Avaliar a eficiência do sistema de tratamento de esgoto;
- Avaliar a prática de reúso adotada.

2.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.3.1 Sistemas de tratamento de esgotos

A implantação de um sistema de tratamento de esgotos tem por objetivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, a fim de que essas águas atinjam padrões de qualidade que não agridam o meio ambiente. Por essa perspectiva, a natureza dos constituintes do esgoto e o grau de remoção são elementos fundamentais que precisam ser apurados antes de se definir o método de tratamento mais eficiente (KATO *et al.*, 1999).

Além do mais, outras características precisam ser levadas em consideração quando se deseja escolher o método de tratamento mais adequado. Dessa forma, deve-se observar alguns pontos, como: tempo de detenção hidráulica; tempo de retenção celular (idade do lodo); carga hidráulica; carga orgânica; recirculação do efluente líquido, de lodo e gases; relação entre as quantidades de alimento (matéria orgânica) no afluente e de lodo presente no reator (biomassa). Ainda sobre esse contexto, do ponto de vista prático, também deve ser analisado outras características: a disponibilidade de área; a variação de vazões; a operação e manutenção; os custos; o consumo de energia; o uso de equipamentos; a mão-de-obra disponível; os impactos ambientais, etc (Kato *et al.*, 1999).

Para implantação de sistemas de esgoto em locais desprovidos de rede coletora, como é o caso de unidades educacionais localizados distante dos centros urbanos, utiliza-se sistemas localizados (*in loco; on site treatment*), uma vez que essa tecnologia apresenta baixo custo, fácil operação e manutenção. Dentre esses sistemas, o mais utilizado é o tratamento com reatores anaeróbicos seguido de filtros anaeróbicos (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Diversas unidades educacionais utilizam esses sistemas com disposição final no solo ou utilizam atividade de reuso com a finalidade de irrigação de áreas verdes. Portanto, faz-se necessário conhecer essas tecnologias, as vantagens e desvantagens desses sistemas.

2.3.1.1 Tanque Séptico

Popularmente, os modelos de reatores anaeróbios disponíveis e usuais são conhecidos como tanques sépticos. Estes podem se apresentar apenas com uma câmara,

com câmaras em série ou câmaras sobrepostas. O modelo com uma câmara (Figura 1), tem sido empregado para atender as residências, enquanto que os outros dois têm sido prestado para volumes maiores de esgoto, especialmente, quando se trata de várias unidades conjugadas (CAMPOS *et al.*, 1999). De maneira simplória, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define tanques sépticos como unidades de tratamento complementar dos efluentes líquidos (ABNT, 1997).

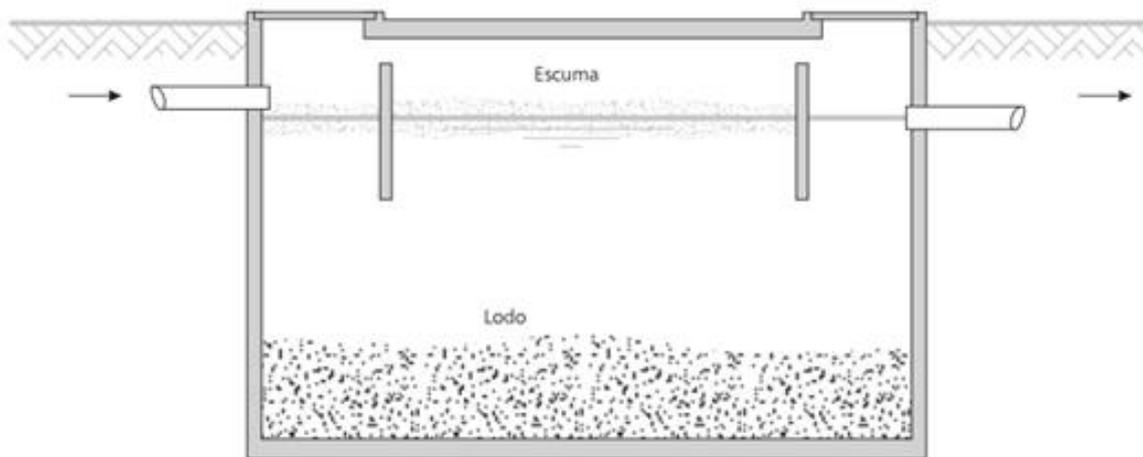


Figura 1 - Representação de um tanque séptico com uma câmara.
Fonte: Andrade Neto *et al.* (1999b).

Andrade Neto *et al.* (1999b) consideram que os tanques sépticos foram as primeiras unidades idealizadas para tratamento de esgotos, não esquecendo que ainda na contemporaneidade, e de maneira extensiva, o seu desenvolvimento tem continuado, em cada parte do mundo. Esse reator apresenta-se bastante dinâmico, uma vez que não vem sendo aplicado apenas para tratamento de esgotos de residências como também de pequenas aglomerações e até mesmo cidades.

Essa tecnologia no tratamento de esgotos não tem apresentado alta eficiência, embora seja capaz de produzir efluentes de qualidade razoável, que pode, ser simplesmente encaminhado a um pós-tratamento complementar. Além das vantagens do processo anaeróbio, que são o baixo consumo de energia, a menor produção de lodo, a possibilidade de utilização do gás metano como combustível, e a possibilidade de funcionar bem após longos períodos de interrupção, esses reatores têm operação muito simples e o custo é extremamente baixo (CAMPOS *et al.*, 1999). Ademais, pode ser destinado a tratar desde pequenas vazões até volumes médios de esgoto e tem se destacado como um reator bastante resistente (ANDRADE NETO *et al.*, 1999b).

Geralmente, os decanto-digestores têm abrangido, na prática, diversos tipos de configurações, tendo sido os pioneiros do tratamento anaeróbio de esgotos. Dessa forma, os tanques sépticos têm sido empregados em áreas urbanas desprovidas de rede coletora pública de esgoto sanitário, além também de atender vilas, conjuntos residenciais e comunidades que geram vazões relativamente pequenas. Em regra, o tanque séptico vem sendo projetado combinado com filtro anaeróbio.

Funcionalmente o tanque séptico se assemelha à lagoa anaeróbia, embora apresente dimensões proporcionalmente menores, podendo ser construídas em concreto ou alvenaria, e com cobertura. Nesse tanque há predominância de mecanismos físicos de sedimentação, sendo observado pela deposição do lodo de esgoto no fundo do tanque. A estabilização da DBO solúvel apresenta-se reduzida, isso porque no reator acontecem os problemas semelhantes da lagoa anaeróbia, o que não promove a mistura e o contato entre biomassa e esgoto solúvel em função do fluxo hidráulico interno (KATO *et al.*, 1999).

A eficiência dos tanques sépticos varia de acordo com a carga orgânica, a carga hidráulica, a geometria, os compartimentos e o arranjo das câmaras, os dispositivos de entrada e saída, a temperatura e as condições de operação. Dessa forma, sabe-se que a eficiência varia em função da competência de projeto. Geralmente situa-se entre 40 e 70% na remoção da demanda bioquímica (DBO) ou química (DQO) de oxigênio e 50 a 80% na remoção dos sólidos suspensos (HARTMAN *et al.*, 2009).

O intervalo de limpeza, ou seja, o período de tempo de remoção do lodo é importante para o bom funcionamento do tanque séptico. Dessa forma, a acumulação de lodo e espuma nos tanques devem ser removidos a intervalos equivalentes ao período de limpeza do projeto, objetivando boas condições operacionais (ABNT, 1993).

O tanque séptico tem se apresentado de maneira versátil, haja vista que pode anteceder variados tipos de unidades de tratamento de esgoto, sendo muito proveitoso quando associado às unidades capazes de remover matéria orgânica dissolvida. Em uma de suas aplicações, cita-se os grandes tanques sépticos de câmaras em série antecedendo sistemas de pequenas lagoas de estabilização, e sendo capazes de substituir as lagoas anaeróbias com o objetivo de prevenir os maus odores (CAMPOS *et al.*, 1999).

O Brasil é o país que mais tem aplicado reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos sanitários, porém sabe-se que um reator anaeróbio dificilmente apresenta um efluente que atende aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental (ANDRADE NETO; HAANDEL; MELO, 2002). Assim, é quase sempre necessário o

pós-tratamento do efluente de reatores anaeróbios, sendo o filtro anaeróbico a tecnologia mais utilizada no cenário brasileiro (CAMPOS *et al.*, 1999).

2.3.1.2 Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio, na sua dimensão funcional, representa um conjunto de peças imóveis de material inerte coberto de microrganismos, agregados em biofilme e filamentos, e com espaços vazios que podem ser parcialmente ocupados por lodo em flocos e grânulos, através do qual percola o esgoto destinado ao tratamento (ANDRADE NETO, 2004).

No que tange à estrutura, o filtro anaeróbio (Figura 2) tem sido estabelecido como um tanque, contendo uma camada espessa de peças sobrepostas, isto é, material de enchimento, constituindo um leito fixo, pelo qual se faz fluir o esgoto. Essa fluidez tem sido permitida em função do sentido do fluxo, que pode ser ascendente, descendente ou horizontal, bem como do auxílio de dispositivos de distribuição do afluente e drenagem do efluente. Ressalta-se que normalmente o sentido do fluxo tem se dado de maneira ascendente ou descendente, mas deve sempre ser afogado (submerso) (ANDRADE NETO, 2004).

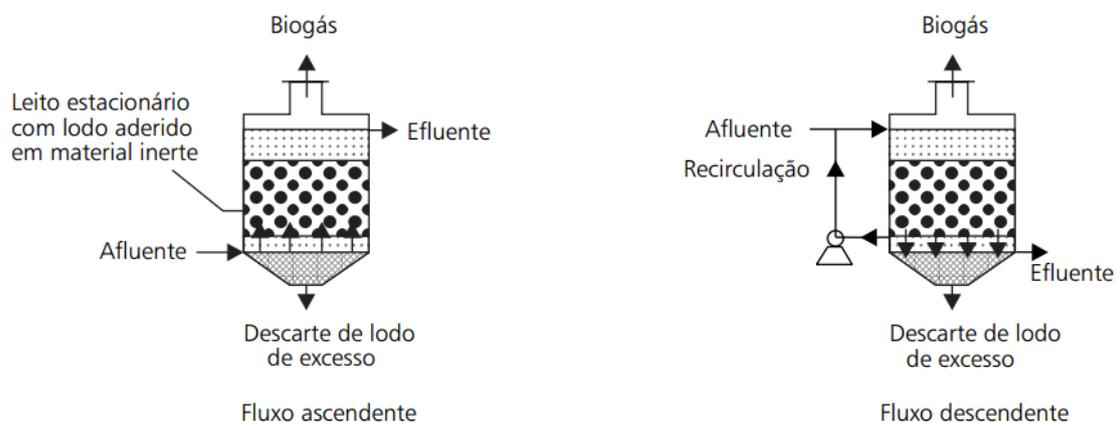


Figura 2 - Representação estrutural de um filtro anaeróbio, tanto de fluxo ascendente (lado esquerdo da figura) quanto de fluxo descendente (lado direito da figura).

Fonte: Kato *et al.* (1999).

De acordo com a NBR 13969 (ABNT, 1997), o filtro anaeróbio tem sido definido como um reator biológico, apresentando uma câmara inferior vazia e uma câmara superior preenchida de meio filtrante submersos, onde há ação de micro-

organismos facultativos e anaeróbios, os quais são responsáveis pela estabilidade da matéria orgânica existente.

Com base nas especificidades de cada localidade e nas vazões e características dos efluentes, os filtros anaeróbios podem apresentar várias formas, configurações e dimensões. Essa variância em sua estrutura deve obedecer a boa distribuição do fluxo por meio do material de enchimento, e a exploração adequada das formas e dimensões na busca para a melhor desempenho e rendimento funcional do sistema (ANDRADE NETO, 2004).

Uma das grandes questões que envolvem os filtros anaeróbios tem sido as preocupações com maus odores. Em razão disso, geralmente se têm os construídos cobertos, o que pode acarretar, na maioria das vezes, problemas estruturais, no caso de grandes reatores, além de elevar o custo. Por outro lado, esses reatores quando descobertos, o leito filtrante deve ser submerso, propiciando uma lâmina de líquido na superfície, onde normalmente há proliferação de grande quantidade de algas, as quais evitam adores fortes em razão da produção de oxigênio (CAMPOS *et al.*, 1999).

Nos filtros anaeróbios, o fluxo hidráulico ocorre nos poros do leito formado pelo material suporte com biomassa, e é nessa região, com o auxílio do fluxo contendo a matéria orgânica, que se procede as reações. Pensando nessa questão, observou-se que suporte de dimensões menores, de baixo peso e formas com elevada área superficial por unidade de volume de material, dependendo do custo, podem promover tanques mais econômicos. Favoravelmente, se diz que quanto maior a área superficial do material suporte por unidade de volume do tanque, maior pode ser a biomassa aderida, resultando assim, em maior capacidade de tratamento (KATO *et al.*, 1999).

Os filtros anaeróbios dispõem de vantagens em relação aos demais reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo, envolvendo a remoção da matéria orgânica dissolvida, com baixa produção de lodo e sem gasto de energia. Além dessas características gerais, comportam outras específicas, que são: resistem bem às variações do afluente; permitem boa estabilidade ao efluente, com baixa perda dos sólidos biológicos; não necessitam de inóculo para a partida; dispõem de grande diversidade de projeto, com opções variadas de forma e sentido de fluxo; e apresentam construção e operação simples (ANDRADE NETO; HAANDEL; MELO, 2002; ANDRADE NETO, 2004).

Os filtros anaeróbios também apresentam desvantagens e/ou limitações, decorrentes do risco de obstrução do leito (entupimento), bem como do volume

relativamente grande, devido ao espaço ocupado pelo material inerte de enchimento (ANDRADE NETO *et al.*, 1999a). Nessa perspectiva e pensando na boa eficiência desse reator, faz-se necessário que se proceda, com periodicidade, a remoção do excesso de lodo do meio filtrante (ANDRADE NETO; HAANDEL; MELO, 2002). Acrescendo à essa questão, Andrade Neto (2004) pondera dentro dessas limitações, que o custo de um filtro anaeróbio recai mais sobre a parte construtiva e operacional do que do volume.

Deste modo, os filtros anaeróbios têm sido utilizados como unidade principal no tratamento de esgotos, sendo que são mais adequados para pós-tratamento (polimento) de outras unidades anaeróbias. Além de concluir o tratamento, promove elevada segurança operacional e traz maior estabilidade ao efluente, por ter a capacidade de reter sólidos e recuperar-se de sobrecargas qualitativas e quantitativas em regiões de clima quente (ANDRADE NETO, 2004). Ademais, os filtros anaeróbios têm sido aplicados tanto para tratamento de esgotos concentrados como diluídos, embora sejam mais indicados para esgotos predominantemente solúveis (KATO *et al.*, 1999), porque o risco de entupimento do meio filtrante aumenta com a concentração de sólidos suspensos do afluente (ANDRADE NETO, 2004).

Estudo da eficiência dos filtros anaeróbios, com objetivo de remover coliformes fecais e ovos de helmintos, indicou que os sistemas investigados atingiram a eficiência de mais de 93%. Dessa forma, o relativo bom desempenho de filtros anaeróbios produziu um efluente com baixas concentrações de ovos de helmintos. Na avaliação de eficiência de outro filtro anaeróbio com meio suporte de bambu a remoção da matéria orgânica e turbidez foram de 90,30 % e 82,37 % respectivamente (SOUZA; ISOLDI; OLIZ, 2010).

A eficiência dos filtros na remoção da carga orgânica e sólidos está relacionada à atividade biológica que é influenciada pela temperatura e por duas variáveis de projeto: tempo de retenção celular ou tempo de retenção de sólidos biológicos no interior do filtro e tempo de detenção hidráulica (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

A operação dos filtros anaeróbios embora seja bastante simples, não pode ser descuidada. É necessário que haja uma periodicidade na remoção do excesso de lodo do meio filtrante, com o intuito de evitar transtornos ao sistema e ocasionar prejuízos ambientais (ANDRADE NETO; HAANDEL; MELO, 2002).

Os filtros, apesar de serem utilizados como unidade principal do tratamento de esgoto, são mais adequados para pós tratamento, uma vez que operam melhor com contaminantes predominantemente solúveis já que o risco de entupimento do meio

filtrante aumenta com a concentração de sólidos suspensos do afluente (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

2.3.2 Utilização de águas residuárias

A escassez de água e a redução contínua na qualidade continuam a ser uma das principais ameaças para a sobrevivência humana em muitas partes do mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água é predominante, o que compromete a produção agrícola, sendo a agricultura grande consumidor de água e fonte de alimento na maioria das comunidades (ORON *et al.*, 2008).

Assim, em áreas áridas onde a precipitação é insuficiente para suprir as necessidades agrícolas, reúso de água e o uso de água residuária fornece uma alternativa que pode ser desenvolvida para atender as demandas de recursos (DEBOER; LINSTEDT, 1985). Dessa maneira, a utilização de águas residuárias além de surgir como meio viável para suprir a falta de água em diversas regiões do mundo é também considerada um importante meio de redução das descargas de águas residuais em ambientes aquáticos (WEBER; KHAN; HOLLENDER, 2006; HUERTAS *et al.*, 2008).

Para Pereira *et al.* (2005) o uso planejado de águas residuárias tratadas, contribui para o controle de poluição, implica em economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola. Segundo Andrade Neto *et al.* (2003), o uso de efluentes tratados como fonte de nutrição vegetal preserva os recursos hídricos para usos mais nobres e quando é utilizado em substituição às soluções nutritivas convencionais, pode fornecer macro e micronutrientes às plantas.

Existe diversos fatores que contribuem para a prática de irrigação utilizando corpos d'água que recebem esgoto, entre esses tem-se: o avanço do conhecimento sobre o potencial e as limitações do reúso agrícola e suas vantagens; o controle da poluição; a racionalização do uso da água; a economia de fertilizantes; a reciclagem de nutrientes e o aumento da produção agrícola (NUVOLARI, 2003).

Mizyed (2013) investigando a reutilização de águas residuárias em algumas áreas em desenvolvimento, especialmente aquelas localizadas em áreas áridas e semiáridas, como é o caso da Cisjordânia, observou que a reutilização de águas residuárias tratadas na agricultura é essencial no desenvolvimento do setor agrícola, pois melhora a segurança alimentar e a redução da pobreza. Entretanto, esse autor ressaltou que a falta de infraestrutura para coleta e tratamento é um grande obstáculo para a reutilização de águas residuárias para a maioria dos países em desenvolvimento.

Nesse contexto, é importante ressaltar a escolha da tecnologia de tratamento das águas residuárias que são capazes de produzir efluentes adequados para a prática de reúso agrícola. Para isso, faz-se necessário definir parâmetros de qualidade de água de irrigação baseado em variáveis físico-químicas e microbiológicas.

Brandão, Scherrenberg e Lier (2013), estudando as principais características de efluentes tratados destinados à produção agrícola, concluíram que os principais parâmetros de qualidade de água de irrigação, são: salinidade, agentes patogênicos, metais pesados e níveis de nutrientes.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram planejadas 5 etapas subsequentes conforme detalhadas a seguir: a) Levantamento de informações sobre os sistemas de tratamento de esgoto; b) Realização de visitas in loco para vistoria e definição dos sistemas que seriam estudados; c) Monitoramento e caracterização dos afluentes e efluentes dos sistemas; d) Avaliação dos sistemas e da prática de reúso; e e) Análises estatísticas.

2.4.1 Levantamento de informações sobre os sistemas de tratamento de esfluentes

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, conta atualmente com 18 campi construídos e 2 em construção, distribuídos entre 16 municípios e localizados em diversas regiões do Estado, conforme pode ser observado na Figura 3 (<http://portal.ifrn.edu.br/>).

As informações sobre os tipos de sistemas de tratamento de efluentes adotados em cada campus foram obtidas junto a Diretoria de Engenharia do IFRN. Os campi encontram-se presentes em diversas localidades, sendo a maioria, em áreas desprovidas de rede coletora de esgoto. Devido a simplicidade operacional foi adotado, como base para a concepção dos sistemas de tratamento, o uso de unidades anaeróbias do tipo tanque séptico seguido ou não de unidades de pós-tratamento.

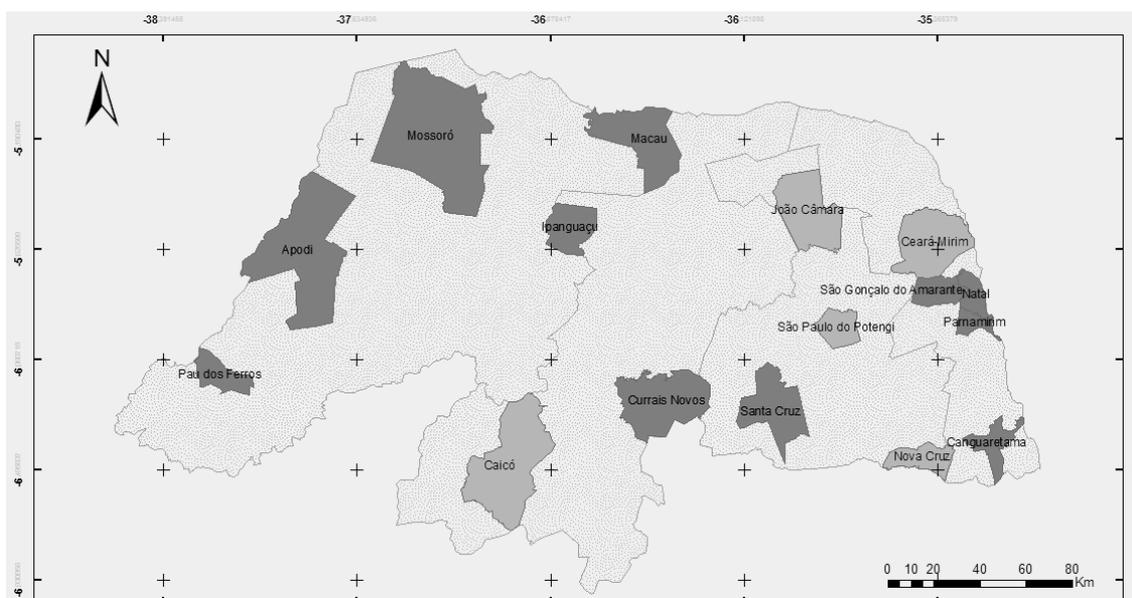


Figura 3- Municípios do Rio Grande do Norte que possuem campi do IFRN.

2.4.2 Visitas *in loco* para verificação dos sistemas de tratamento

Para levantamento de informações de cada sistema de tratamento e comprovar as informações obtidas junto a Diretoria de Engenharia do IFRN, foram realizadas verificações *in loco* nos campi, destacando entre outros, a tecnologia utilizada para o tratamento, o estado físico das estações, as condições operacionais e o destino do efluente final.

Na fase de planejamento das visitas foi decidido avaliar apenas os sistemas compostos por tanque séptico seguido de pós-tratamento (filtro submerso anaeróbio e wetland). Tal opção foi tomada em virtude da dificuldade levantada pela Diretoria de Engenharia em se fazer as coletas nos sumidouros, pelo fato de não contarem, na maioria dos casos, de dispositivos de acesso para a tomada de amostras.

As verificações *in loco* foram realizadas no mês de março de 2014 em 10 campi do IFRN, conforme indicados a seguir: Lajes, Apodi, Pau dos Ferros, Caicó, Parelhas, Currais Novos, São Paulo do Potengi, Nova Cruz, Canguaretama, Ceará Mirim, João Câmara e Natal Zona Norte.

2.4.3 Monitoramento e caracterização dos sistemas de tratamento

Após a avaliação dos resultados obtidos durante a realização das vistorias de campo, foram selecionados para serem monitorados 5 sistemas de tratamento de esgotos localizados nos campi de Caicó, Ceará-Mirim, João Câmara, Nova Cruz e São Paulo do Potengi. Estes foram selecionados devido, principalmente, ao fato de apresentarem a mesma configuração (tanque séptico seguido de polimento através de filtros submersos anaeróbios) e cujos efluentes finais são infiltrados no solo ou utilizados para irrigação de campos de futebol e jardins.

Cada sistema de tratamento de esgoto foi monitorado com frequência mensal durante o período de março a setembro de 2014, no período da manhã. Em todos os sistemas foram coletadas amostras do esgoto bruto (EB), retiradas da última caixa de passagem antes da entrada na ETE, e do efluente final (ET). Em Caicó e Nova Cruz também foram tomadas amostras dos reservatórios de água de chuva que recebem o efluente tratado (RAC).

Após as coletas, as amostras eram transferidas para frascos de polipropileno, e acondicionadas em caixa térmica com gelo. Em seguida, eram encaminhadas imediatamente para os laboratórios de análises de águas e efluentes da Diretoria de

Recursos Naturais, Campus Natal – Central, onde foram realizadas as análises físico-químicas e microbiológicas, conforme métodos analíticos detalhados no Quadro 1. A metodologia das análises seguiu as recomendações padrões descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005).

Quadro 1 - Variáveis analisadas e métodos analíticos utilizados.

Variáveis	Método Analítico	Ponto de
pH	Potenciométrico	EB, ET, RAC
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Potenciométrico	
Sólidos Totais Dissolvidos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Potenciométrico	
Cor (uH)	Colorimétrico	
Turbidez (uT)	Nefelometria	
C. Termotolerantes (NMP/100 mL)	Tubos Múltiplos	
Ortofosfato solúvel ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Colorimétrico – cloreto estanhoso	
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Colorimétrico - Salicilato de Sódio	
Nitrogênio amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Micro Kjeldall seguido de titulação	
DQO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico – Digestão por refluxação fechada	
Sólidos Suspensos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico	EB, ET
Nitrogênio Orgânico ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Micro Kjeldall seguido de titulação	RAC
Sódio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Fotometria de chama	
Potássio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Fotometria de chama	
Magnésio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	
Cálcio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico	
Cloreto ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico – argentométrico	
Alcalinidade ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Titulométrico – potenciométrico	

2.4.4 Avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto e da prática de reúso

Para avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto, utilizou-se do cálculo de eficiência de remoção para as variáveis analisadas, por meio da equação 1 (VON SPERLING, 1996):

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100 \quad (1)$$

Em que:

E = eficiência de remoção (%);

C_o = concentração do afluente (mg/L)

C_e = concentração do efluente (mg/L)

Para avaliação da prática de reuso de esgotos tratados nos Campi de Nova Cruz e Caicó, utilizou-se da razão de adsorção de sódio (RAS), cujo parâmetro representa a relação entre os cátions sódio (Na), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). Destaca-se que o RAS é importante indicador para avaliar a qualidade da água que se pretende irrigar. Essa relação pode ser expressa pela seguinte fórmula, equação 2, (MARQUES et al., 2003).

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

Em que:

Na = teor de sódio na água de irrigação (meq/L)

Ca = teor de cálcio na água de irrigação ou em equilíbrio na solução do solo (meq/L)

Mg = teor de magnésio na água de irrigação (meq/L)

Com base na mensuração do RAS, pôde-se classificar a prática reuso de esgoto tratado através dos critérios propostos por Gheiy et al. (1999, apud MARQUES et al., 2003). A seguinte classificação (baixa, média e alta), apresentada na Tabela 1, leva em consideração o grau de restrição de uso de águas com problema de sodicidade.

Tabela 1 - Classificação de uso de água para irrigação com base na sodicidade.

Parâmetro	Unidade	Restrição de uso		
		Baixa	Média	Alta
Irrigação superficial	RAS	< 3	3 – 9	> 9

Fonte: Adaptado Gheiy et al. (1999, apud MARQUES et al., 2003).

2.4.5 Análises estatísticas

Os dados das análises físico-química e microbiológica foram submetidos à estatística descritiva básica para a obtenção dos valores de tendência central (média, media, moda), de dispersão (desvio padrão e quartis) e faixas de variação (mínimo e máximo). Posteriormente, foram realizados testes de normalidade, sendo tal hipótese rejeitada. Dessa forma, optou-se pela utilização da mediana como o valor característico da tendência central.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Levantamento de informações

O Quadro 2 destaca as tecnologias utilizadas para o tratamento de esgotos nos campi do IFRN. De acordo com as informações obtidas junto ao Setor de Engenharia, dos 18 campi, apenas 4 estão localizados em áreas cobertas por rede coletora de esgotos (Mossoró, Natal, São Gonçalo do Amarante e Santa Cruz). As demais unidades apresentam estação própria de tratamento e disposição de esgotos, sendo todas constituídas por reatores anaeróbios. Os sistemas foram projetados para uma população máxima contribuinte de 1.200 pessoas entre alunos, funcionários e terceirizados.

Em 7 campi a estação de tratamento é constituída por sistema pré-fabricado composto por tanque séptico, seguido de filtro submerso anaeróbio. Nos demais campi, as estações de tratamento foram construídas in loco, sendo 3 constituídas por sistemas compostos por tanque séptico, seguido de filtro submerso anaeróbio e wetland, 1 composto por tanque séptico, seguido de filtro submerso anaeróbio e lagoas de polimento, 4 por tanque séptico e sumidouro e 1 por tanque séptico seguido de filtro submerso anaeróbio.

Quadro 2 - Tecnologias de tratamento individuais utilizadas nos campi do IFRN.

Campus	Tecnologia de tratamento
Apodi, Natal Zona Norte (em construção), Pau dos Ferros	Tanque séptico + filtro submerso anaeróbio + wetland (construído)
Caicó, Canguaretama, Ceará Mirim, Lajes (em construção), Nova Cruz, Parelhas (em construção), São Paulo do Potengi	Tanque séptico + filtro submerso anaeróbio (pré-fabricado)
Currais Novos	Tanque séptico + filtro submerso anaeróbio + lagoas (construído)
Ipanguaçu, Macau, Natal Central, Parnamirim	Tanque séptico + sumidouro (construído)
João Câmara	Tanque séptico + filtro submerso anaeróbio (construído)
Mossoró, Natal Central, Natal Cidade Alta, Santa Cruz, São Gonçalo do Amarante	Ligados a rede coletora de esgotos

2.5.2 Visitas in loco

Conforme já apresentado foram visitados todos campi com sistemas de tratamento compostos por tanque séptico seguido de pós-tratamento (filtro submerso

anaeróbio e wetland), que representam a maioria dos sistemas. As verificações *in loco* foram realizadas no mês de março de 2014 nos campi de Lajes, Apodi, Pau dos Ferros, Caicó, Parelhas, Currais Novos, São Paulo do Potengi, Nova Cruz, Canguaretama, Ceará Mirim, João Câmara e Natal Zona Norte. A seguir destacadas as principais observações obtidas em cada unidade.

a) Sistemas em fase de implantação

As ETE localizadas nos campi de Lajes, Parelhas e Natal Zona Norte ainda estavam sendo implantadas e, dessa forma, não puderam ser incluídas no plano de monitoramento.

b) Sistema em operação descartados para monitoramento

As ETE de Apodi, Currais novos e Pau dos Ferros não estavam produzindo efluente, provavelmente pelo baixo consumo de água nesses campi, e, além disso, havia indícios de vazamentos nos reatores. Já a ETE de Canguaretama estava totalmente coberta por lajes de concreto o que impedia a tomada de amostras.

As ETE nos Campi de Apodi e Pau dos Ferros apresentam a mesma configuração e tamanho tendo sido originalmente projetadas para uma ocupação máxima de 1200 usuários (alunos, funcionários e terceirizados). São constituídas por um tanque séptico de câmara dupla seguido de dois filtros biológicos anaeróbios, em paralelo, com enchimento de tijolos de oito furos, e duas unidades de alagados construídos (wetlands), em paralelo, com enchimento de brita, e um reservatório de armazenamento do efluente tratado. Foram construídas com alvenaria de tijolos revestidos internamente com argamassa para garantir a estanqueidade e evitar a contaminação do solo. Devido às características climáticas e de indisponibilidade hídrica na região o efluente tratado pode ser uma excelente alternativa para a irrigação de áreas adjacentes as ETE. Embora os Campi já se encontrem com a população contribuinte muito próxima do valor considerado em projeto, foi observado *in loco* que os sistemas de tratamento não estavam produzindo efluentes e, conseqüentemente, os tanques de armazenamento encontravam-se vazios.

Em Apodi (Figura 4), a ETE está localizada em local adequado, de fácil acesso para operação e manutenção, e próxima de áreas disponíveis para o reuso dos efluentes na irrigação. A ETE estava tomada por vegetação em determinados pontos,

particularmente em um dos filtros e wetlands; foi observado ainda um desnível nos tijolos que serviam como material de enchimento dos filtros e que os mesmos estavam posicionados de forma inadequada em relação ao sentido do fluxo hidráulico no reator.

A ETE no Campus de Pau dos Ferros (Figura5) está localizada em área adequada, isolada das demais áreas do campus, no limite dos fundos e parte mais baixa do terreno, próxima ao campo de futebol, que pela sua proximidade poderia ser a primeira opção para a disposição dos efluentes tratados. No entanto, destaca-se que embora no Campus foi observado in loco que sistema de tratamento não estava produzindo efluente e, conseqüentemente, o tanque de armazenamento encontrava-se vazio. Destaca-se também que a ETE estava tomada por vegetação em determinados pontos, particularmente em um dos filtros e wetlands, com tubulações quebradas, e visível vazamento de esgotos pelas unidades de tratamento para o solo.



Figura 4 - Vistas das unidades da ETE no Campus Apodi – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio e wetland; C – filtro biológico, com detalhe do material de suporte; D – reservatório de efluente tratado).



Figura 5 - Vistas das unidades da ETE no Campus Pau dos Ferros – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio e wetland com destaque para a presença de vegetação nas unidades; C – detalhe de tubulação quebrada entre o wetland e reservatório de efluente tratado; D – reservatório de efluente tratado).

O sistema de tratamento de esgotos do Campus de Currais Novos é composto por caixa de gordura, um tanque séptico de câmara dupla seguido de filtro anaeróbio submerso, com enchimento de tijolos de 8 furos, e três lagoas de polimento em série (Figura 6). Além da mesma população contribuinte final utilizada para o projeto em todos os campi, também foi considerado a contribuição de esgotos advindos da indústria de laticínios (CT Queijo), baseada em um processamento 5000 L de leite/dia (5 dias/semana). Todo o sistema de tratamento foi construído com alvenaria de tijolos revestidos internamente com argamassa para garantir a estanqueidade. A opção pelo uso de lagoas como unidades de pós-tratamento foi decorrente da necessidade de obtenção de um efluente final com baixa concentração de coliformes termo tolerantes, haja visto que o efluente final seria utilizado para a irrigação de um pomar.

Foi constatado que embora estivesse ocorrendo à saída de efluente, o mesmo só chegava até a segunda lagoa de polimento; a terceira encontrava-se completamente vazia e tomada por vegetação. Tal fato pode estar ocorrendo devido ao baixo consumo

de água no Campus decorrente do longo período de seca em que a região se encontra o que dificultando o fornecimento de água pela concessionária. Atualmente, parte do abastecimento de água no Campus é realizado através da captação de água de chuva. Destaca-se também que, segundo informações obtidas no Campus, parte dos esgotos ainda passa por fossas antes de entrar no sistema de tratamento de esgotos. Caso estas fossas atuem também como sumidouros a vazão de contribuição a ETE pode ser bem inferior a prevista em projeto. Vale salientar que a falta do efluente final inviabiliza uma das ideias iniciais adotadas na concepção do projeto que era a utilização do efluente final da última lagoa para a irrigação. Foi observado ainda que a parede da primeira lagoa de maturação estava cedendo. A ETE está localizada em área adequada, em parte mais baixa do terreno, e bem afastada das demais instalações.

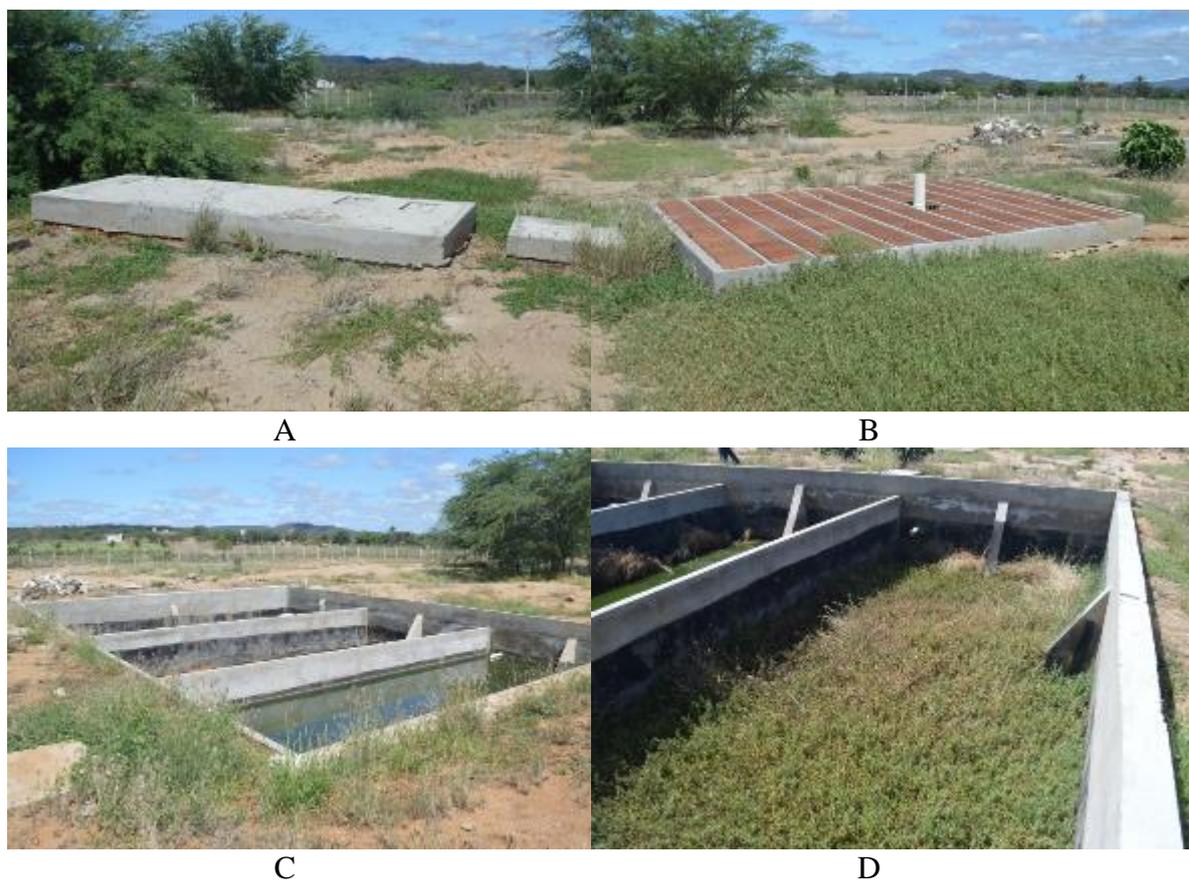


Figura 6 - Vistas das unidades da ETE no Campus Currais Novos – IFRN (A – tanque séptico; B – filtro anaeróbio; C – lagoas de maturação; D – detalhe da lagoa de maturação 3 sem efluente e com vegetação).

No período de realização da pesquisa o Campus de Canguaretama havia sido inaugurado recentemente e estava funcionando com poucas turmas. Foi constatada a

existência de três sistemas de tratamento de esgotos, denominados de ETE 1, ETE 2 e ETE 3, todos com a mesma configuração e pré fabricados em fibra de vidro: tratamento preliminar (grade, caixa de areia e medidor de vazão), tanque séptico e filtro submerso anaeróbio. Os efluentes são dispostos em sumidouros para a infiltração no solo. As ETE 1 e 2 atendiam respectivamente a cada um dos prédios principais (setor administrativo e salas de aula – ETE 1), e laboratórios (ETE 2), enquanto a ETE 3 recebe contribuições do Centro de Esportes e Lazer. Os 3 sistemas têm capacidade para tratamento da contribuição final prevista para toda ocupação do campus (1200 contribuintes).

As três ETE estão localizadas em locais adequados, enterradas e protegidas por paredes de alvenaria sendo que as ETE 1 e 2 (Figura 7) estão totalmente fechadas na parte superior com lajes de concreto e argamassa. Destaca-se que para o tipo de sistema utilizado será necessário realizar remoções periódicas de lodo para evitar o seu acúmulo no interior dos tanques sépticos e colmatção dos filtros biológicos. Devido a baixa ocupação do Campus, a ETE 1 era a única em operação. Os efluentes finais tratados são encaminhados por gravidade para sumidouros não tendo nenhuma estrutura disponível para a utilização do efluente como observado em outros campi. Embora tenha sido solicitada a remoção das lajes de cobertura das ETE, tal ação não foi realizada e, dessa forma, o Campus de Canguaretama não foi incluído no plano de monitoramento.



Figura 7 - Vistas das ETE no Campus Canguaretama – IFRN (A – ETE 1; B – ETE 2).

c) Sistemas em operação inseridos no monitoramento

Durante a verificação das unidades em campo, foi constatado que apenas as ETE localizadas nos campi de Caicó, Ceará Mirim, João Câmara, Nova Cruz, e São Paulo do Potengi estavam funcionando adequadamente e/ou apresentavam as mínimas condições

que favoreciam o seu monitoramento. Dessa forma, para a avaliação da eficiência dos sistemas de tratamento, estas 5 ETE foram incluídas no plano de monitoramento.

As ETE localizadas nos campi de Caicó, Ceará Mirim, Nova Cruz e São Paulo do Potengi são pré-fabricados com plástico reforçado com fibra de vidro e contendo basicamente um reator anaeróbio seguido de filtro submerso anaeróbio com leito de peças plásticas corrugadas. Já a ETE no Campus de João Câmara foi adaptada de um sistema tanque séptico e sumidouros construídos de alvenaria de tijolos e argamassa. Devido a baixa permeabilidade do solo, os sumidouros foram convertidos em filtros anaeróbios submersos, utilizando como leito filtrante resíduos de construção (cacos de telhas e tijolos, e britas). Todas as ETE foram originalmente projetadas para uma ocupação máxima de 1200 usuários. A seguir serão apresentadas as principais observações verificadas in loco em cada campi.

A ETE no Campus de Caicó é pré-fabricada e além das unidades básicas de tratamento apresenta unidade de desinfecção com a utilização de partilhas de cloro e reservatório final para armazenamento do efluente tratado. A ETE está localizada em área adequada, na parte mais baixa do terreno, próxima de uma depressão natural que é utilizada como reservatório para a drenagem de águas de chuva, e está localizada próxima ao campo de futebol. A ETE (Figura 8) opera normalmente, produzindo efluente que, após passar pelo reservatório de fibra de vidro, é lançado no reservatório de drenagem, misturando-se com a água de chuva, sendo utilizados para a irrigação do campo de futebol através de bombeamento. É importante destacar que o reservatório de drenagem apresenta características de um corpo aquático lântico que, ao receber contribuições de efluentes, mesmo que tratados, pode passar por um processo de eutrofização, desencadeando a proliferação excessiva de algas e cianobactérias, degradação de matéria orgânica e liberação de maus odores, entre outros. O reservatório encontrava-se cheio de vegetação.

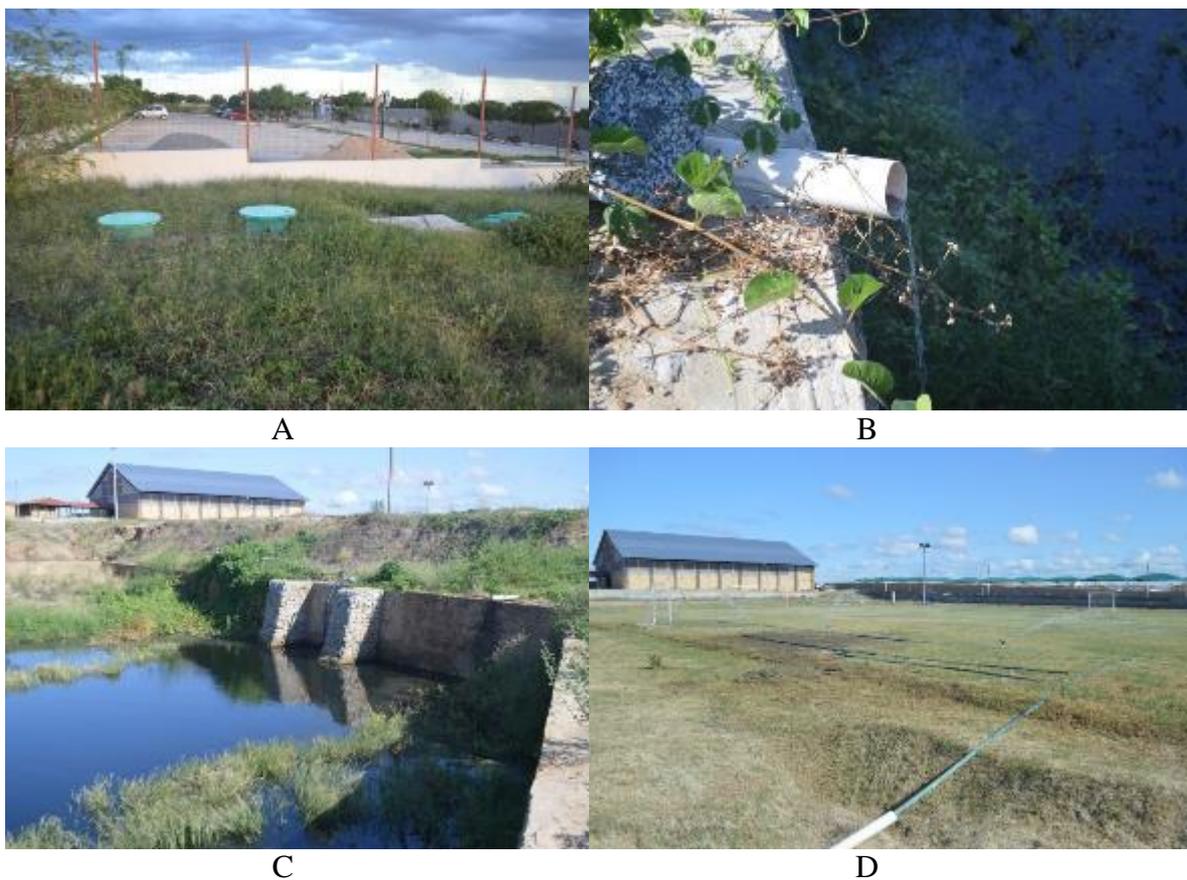


Figura 8 - Vistas das unidades da ETE no Campus Caicó – IFRN (A – unidade de tanque séptico e filtro submerso anaeróbio; B – lançamento do efluente final tratado no reservatório de águas de drenagem; C – vista do reservatório de drenagem de águas de chuva com destaque para a presença de vegetação; D – campo de futebol sendo irrigado com a água do reservatório de drenagem).

No Campus de Nova Cruz também existem dois sistemas de tratamento de esgotos (Figura 9), sendo um atendendo aos prédios principais (ETE 1) e o outro ao centro de lazer e esportes (ETE 2), com concepção semelhante ao existente no Campus de Caicó, pois, além das unidades básicas de tratamento também apresentam unidade de desinfecção com pastilhas de cloro. A ETE 1 está localizada na lateral do prédio principal, em nível um pouco mais baixo do terreno, enterrada e protegida por uma estrutura de alvenaria e laje de cobertura e aberturas apropriadas para a realização de inspeções e limpeza. A ETE 2 está enterrada no solo próxima ao Centro de Esportes e Lazer. As ETE estão operando normalmente, e os efluentes finais tratados são encaminhados por gravidade para um reservatório fechado em alvenaria de tijolos, que também recebe água de chuva, e são utilizados para a irrigação do campo de futebol através de uma estrutura disponível para tal (tubulações e estação elevatória). Não foi observado no Campus um sistema específico para a captação e coleta de água de chuva,

no entanto algumas calhas adjacentes aos passeios direcionam as águas pluviais para o mesmo reservatório que acumula os esgotos tratados.



A



B



C



D

Figura 9 - Vistas das unidades da ETE no Campus Nova Cruz – IFRN (A – ETE 1: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; B: ETE 2: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; C – Reservatório de efluente tratado e águas pluviais; D – Vista do campo de futebol que é irrigado com a mistura do efluente tratado e água de chuva).

No Campus de São Paulo do Potengi existem dois sistemas de tratamento de esgotos (Figura 10) sendo um atendendo aos prédios principais (ETE 1) e o outro ao centro de lazer e esportes (ETE 2). As ETE são pré-fabricados e compostas por unidade de tratamento preliminar (grade, caixa de areia e medidor de vazão), sistema tanque séptico seguido de filtro submerso anaeróbio, e reservatório final para armazenamento do efluente tratado. Como recebem contribuições diferenciadas apresentam diferentes capacidades individuais. O maior sistema (ETE 1) recebe as contribuições dos prédios principais enquanto que a unidade menor (ETE 2) recebe as contribuições do centro de lazer e esportes. As ETE estavam operando normalmente, no entanto, como o Campus ainda encontra-se no início das atividades, a produção de efluente ainda era muito

pequena. Estão localizadas em áreas adequadas, em partes baixas do terreno e que pela sua topografia e característica de solo devem ser bem protegidas para evitar o recalque das unidades. A unidade de gradeamento e medição de vazão da ETE 1 não se encontra totalmente apoiada, podendo ocasionar o comprometimento da estrutura. Existe área disponível no Campus para a reutilização de todo o efluente produzido para a irrigação de áreas verdes e do campo de futebol, no entanto, não existem estruturas de bombeamento instaladas para essa finalidade.



Figura 10 - Vistas das unidades da ETE no Campus São Paulo do Potengi – IFRN (A – ETE 1: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio; B – ETE 2: unidade de tanque séptico-filtro anaeróbio).

No Campus de Ceará-Mirim foi constatada a existência de dois sistemas de tratamento de esgotos (Figura 11) semelhante aos existentes no Campus de São Paulo do Potengi. A ETE 1 recebe contribuições dos prédios principais do campus e a ETE 2 recebe contribuições do Centro de Esportes e Lazer. Os sistemas contam com unidade preliminar (grade, caixa de areia e medidor de vazão), tanque séptico e filtro submerso anaeróbio.

As ETE estão localizadas em locais adequados, sendo que a ETE 1 está apoiada no solo enquanto que a ETE 2 está enterrada e protegida por paredes de alvenaria e fechada na parte superior com placas de concreto e argamassa. Destaca-se que para o tipo de sistema utilizado será necessário realizar remoções periódicas de lodo para evitar o seu acúmulo no interior dos tanques sépticos e a colmatagem dos filtros biológicos. Destaca-se ainda que não há nenhuma estrutura disponível para a utilização dos efluentes tratados e os mesmos são simplesmente dispostos no solo para infiltração.



Figura 11 - Vistas das unidades da ETE no Campus Ceará Mirim – IFRN (A – Vista da ETE 1; B – Vista da ETE 2).

O Campus de João Câmara foi um dos primeiros campi onde foi instalado um sistema específico para o tratamento de efluentes. Inicialmente o sistema consistia de um tanque séptico de duas câmaras seguido por 3 sumidouros para a disposição do efluente no solo para infiltração. No entanto, devido às características do solo, com baixa permeabilidade, o sistema apresenta-se sempre com excesso de efluentes, sendo necessária a realização de esgotamentos periódicos nas unidades do sistema.

Posteriormente foi executada uma alteração do sistema transformando os sumidouros em filtros submersos anaeróbios e os efluentes dos 3 filtros foram reunidos em uma caixa de passagem e conduzidos para a disposição final no solo em área mais baixa e distante dos prédios principais (Figura 12). O sistema está em funcionando normalmente sendo realizada a remoção de lodo do tanque séptico uma vez por ano. Até o momento não foi necessário realizar nenhuma limpeza nos filtros biológicos. O local onde o efluente final é disposto apresenta grande quantidade de vegetação criando um aspecto de wetland natural que pode ser aproveitado para harmonia paisagística do local.



Figura 12 - Vistas das unidades da ETE no João Câmara – IFRN (A – área geral onde está localizado o sistema de tratamento; B – vista da área de disposição final do efluente tratado).

d) Recomendações propostas

Após a realização de todas as vistorias realizadas em campo foi elaborado um relatório técnico para a Diretoria de Engenharia do IFRN destacando os principais problemas observados em cada uma das estações de tratamento visitadas. O Quadro 3 apresenta um resumo com as principais recomendações propostas para a melhoria dos sistemas em cada campus.

Quadro 3 - Recomendações gerais para a melhoria das estações de tratamento.

Ações/Recomendações	Campus								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Apoiar a estrutura da unidade de tratamento preliminar									X
Cercar e identificar a área da ETE	X	X	X	X	X		X	X	X
Cobrir o tanque de armazenamento de efluente tratado	X							X	
Consertar as tubulações quebradas								X	
Definir e identificar os pontos de coleta de amostras	X	X	X	X	X		X	X	X
Limpar o reservatório de armazenamento de água de chuva e efluente tratado	X						X	X	
Proteger a bomba e fiação elétrica		X							
Realizar o esgotamento anual do tanque séptico	X	X	X	X	X		X	X	X
Realizar a manutenção das paredes das lagoas de estabilização					X				
Realizar inspeções periódicas nas caixas de passagem e unidades de tratamento	X	X	X	X	X		X	X	X
Realizar monitoramento frequente da qualidade dos efluentes e água de irrigação	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Realizar treinamento dos encarregados pela operação/manutenção da ETE	X	X	X	X	X		X	X	X
Remover a vegetação no entorno das ETE	X	X	X		X		X	X	X
Retirar as lajes de cobertura da ETE			X	X					
Reutilizar os efluentes tratados	X		X	X	X	X		X	X
Verificar a ocorrência de vazamentos nas unidades de tratamento	X				X			X	

1 – Apodi; 2 – Caicó; 3 – Canguaretama; 4 – Ceará Mirim; 5 – Currais Novos; 6 – João Câmara; 7 – Nova Cruz; 8 – Pau dos Ferros; 9 – São Paulo do Potengi.

2.5.3 Monitoramento

Com base nos resultados da avaliação realizada in loco, foram definidos 5 sistemas de tratamento de esgotos para serem monitorados: Caicó, Ceará-Mirim, João Câmara, Nova Cruz e São Paulo do Potengi. Cada sistema de tratamento de esgoto foi monitorado com frequência mensal durante o período de março a setembro de 2014, no período da manhã sendo tomadas amostras do esgoto bruto (EB) e tratado (ET), e em Caicó e Nova Cruz também foram monitoradas amostras dos reservatórios de água de chuva que recebem o efluente tratado (RAC).

Avaliando os resultados é possível constatar uma grande faixa de variação nas concentrações dos afluentes e efluentes para os 5 sistemas, podendo estar relacionadas com os períodos de coleta, que englobaram períodos com o funcionamento normal e períodos de férias. Além disso, destaca-se que as coletas foram pontuais, sempre pela manhã e que pelas próprias características de ocupação temporária das unidades contribuintes pode não ser a forma mais adequada para a tomada de amostras. Um exemplo a mais da influência destas características foi a incapacidade de medição das vazões afluentes, pois, na maioria das coletas, as mesmas não eram significativas. Devido a pouca vazão a tomada de amostras, particularmente nos sistemas de Caicó e São Paulo do Potengi, ocasionava a retirada de lodo do fundo da caixa de passagem e do canal da caixa de areia, respectivamente. Em Ceará-Mirim, era comum encontrar as comportas das caixas de areia fechadas, ocasionando o acúmulo de sólidos.

No esgoto afluente o pH variou de 7,0 (Caicó) a 8,7 (Nova Cruz). As concentrações medianas alcalinas podem ter sido influenciadas pela descarga de resíduos de laboratório ou de limpeza, pois não são muito comuns em esgoto doméstico que tende a ter um pH em torno do neutro. Os efluentes finais também apresentaram valores medianos na faixa alcalina, variando de 7,6 (Caicó e João Câmara) a 8,3 (Nova Cruz), e não são comuns em sistemas anaeróbios que tendem a produzir de ácidos orgânicos.

Com exceção da ETE no Campus de Nova Cruz, todas promoveram remoções de turbidez, cor (Figura 13), DQO e sólidos suspensos (Figura 14). A única explicação encontrada para justificar tal comportamento é o fato da ETE compacta ter sido instalada após um sistema previamente existente composto por fossa e sumidouro. Como não havia local apropriado para a coleta do EB, o mesmo foi tomado diretamente da fossa, que segundo informações, não havia sido desativada. Posteriormente foi confirmado que a fossa recebia apenas águas cinzas enquanto os resíduos provenientes dos vasos sanitários eram

encaminhados diretamente para a ETE Compacta, sem passar pela fossa. Dessa forma, optou-se pela apresentação dos resultados de EB na ETE de Nova Cruz apenas graficamente, e não serão discutidos no texto.

A mediana de turbidez variou entre 36 uT a 182 uT nos afluentes (EB), e entre 24 uT a 98 uT nos efluentes tratados (ET). Com relação a cor, as concentrações medianas variaram entre 148 uH a 838 uH, nos EB, e entre 80 uH a 480 uH, nos ET.

Nos esgotos brutos as medianas de DQO variaram entre 138 mg/L a 349 mg/L, enquanto que nos efluentes tratados variaram entre 107 mg/L a 252 mg/L. Para sólidos suspensos as variações ocorreram nas faixas de 36 mg/L a 182 mg/L e 24 mg/L a 98 mg/L, respectivamente, para nos esgotos brutos e efluentes tratados.

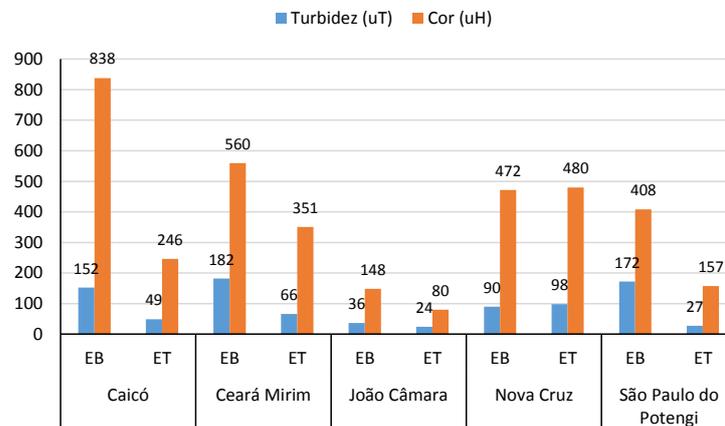


Figura 13 - Concentrações medianas de turbidez e cor determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.

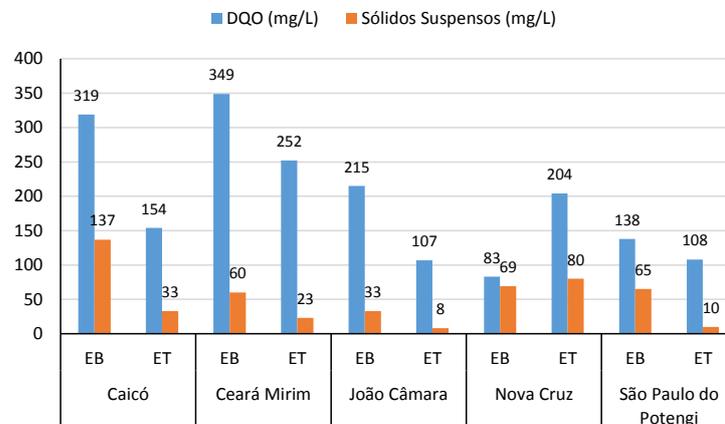


Figura 14 - Concentrações medianas de DQO e sólidos suspensos determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas

Considerando as concentrações medianas afluentes e efluentes foram verificadas eficiências de remoções de acordo com o apresentado na Figura 15. De forma geral, como todas as ETE são compostas por reator anaeróbio seguido de filtro anaeróbio submerso, as eficiências ficaram abaixo do esperado, particularmente em relação a DQO que foi removida na faixa de 22% a 52%. Eficiências mais elevadas foram verificadas para turbidez (33 a 84%) e sólidos suspensos (62 a 85%) atestando uma maior eficiência na remoção de material particulado. Também é provável que grande quantidade de sais dissolvidos possam ter interferido nos resultados de DQO. Na Tabela 2, por exemplo, é possível constatar as elevadas faixas de variação mediana de concentração de sais nas amostras avaliada, comumente mais elevadas que as concentrações características de esgotos domésticos brutos e tratados, particularmente em relação a sólidos totais dissolvidos, condutividade, cloretos e alcalinidade.

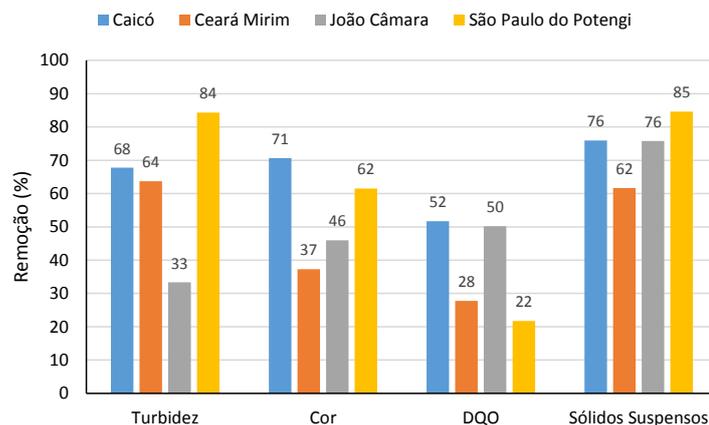


Figura 15 - Eficiências de remoção de turbidez, cor, DQO e sólidos suspensos.

Tabela 2 - Faixas de variação das concentrações medianas de variáveis relacionadas as concentrações de sais dissolvidos no esgoto bruto (EB) e efluente tratado (ET).

Variável	Faixa de Variação	
	EB	ET
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	75-1866	565-1745
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1478-3792	1071-4011
Cloreto (mg/L)	225-840	158-585
Sódio (mg/L)	22-234	20-393
Potássio (mg/L)	20-32	14-42
Alcalinidade (mg/L)	700-6345	760-4560

Com relação as concentrações de nutrientes todas as amostras apresentaram faixas de variação medianas abaixo de valores característicos para esgotos domésticos. O ortofosfato solúvel variou entre 0,5 – 1,0 mg/L, enquanto que o nitrato e o nitrogênio orgânico variaram

numa faixa semelhante (0,5 – 2,5 mg/L). Por outro lado, o nitrogênio amoniacal foi aquele que apresentou uma faixa mais significativa de variação, entre os pontos de coleta e entre as diferentes ETE, conforme pode ser atestado pela Figura 16.

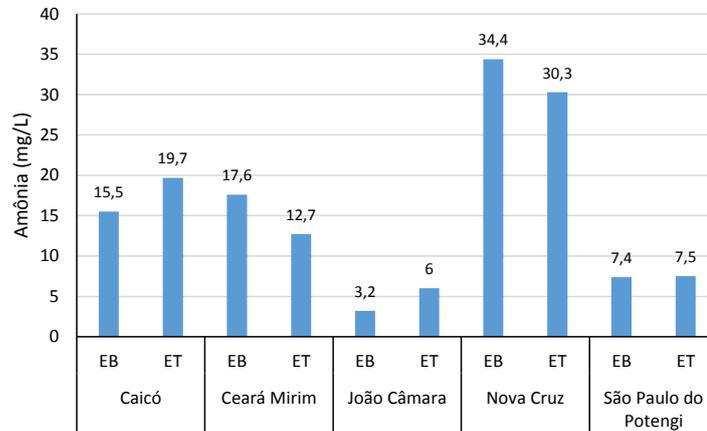


Figura 16 - Concentrações medianas de amônia determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas.

As concentrações medianas de coliformes termotolerantes observadas nos esgotos brutos são características de esgoto doméstico fraco e variaram entre $4,9E+05$ a $5,4E+07$ NMP/100 ml (Figura 17). Todos os sistemas de tratamento promoveram remoções de coliformes dentro da faixa esperada para unidades anaeróbias (89,23 a 98,94%) que produziram efluentes tratados com concentrações medianas variando na faixa de $3,5E+04$ a $5,7E+05$ NMP/100 ml.

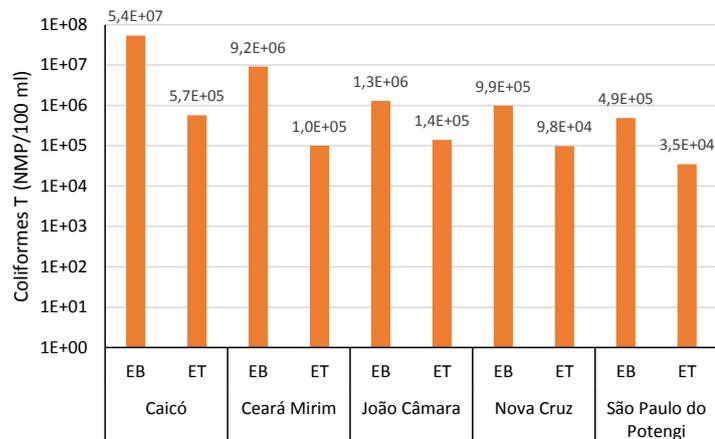


Figura 17 - Concentrações medianas de coliformes termotolerantes determinadas nos esgotos brutos (EB) e efluentes tratados (ET) nas ETE avaliadas

Contextualizando os resultados de maneira geral, fica constatado que os esgotos afluentes as ETE apresentaram características de um esgoto doméstico mais diluído em termos das concentrações de sólidos suspensos, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos. Por outro lado, outras variáveis indicaram a grande presença de sólidos e sais dissolvidos, contribuindo para a obtenção de elevadas concentrações, por exemplo, de sólidos totais dissolvidos, condutividade, cloretos e alcalinidade. Faz-se conveniente destacar, que devido às características de ocupação temporária das unidades contribuintes, a sazonalidade, os usos da água (laboratórios, limpeza das unidades, refeitórios, banheiros, etc.), o horário de coleta entre outros, tem muito mais influência nos resultados quando comparados com um esgoto predominantemente doméstico de uma cidade, por exemplo.

Nos campi de Caicó e Nova Cruz, uma parte das águas de chuva são coletadas e encaminhadas para reservatórios que também recebem os efluentes das respectivas ETE. No Campus de Caicó o reservatório foi construído aproveitando uma depressão natural do terreno e sua área foi definida utilizando paredes de concreto simples. Recebe águas de chuva proveniente do escoamento natural no terreno, de calhas de coleta de água de chuva, além do esgoto proveniente do reservatório de efluente tratado. Em Nova Cruz o reservatório de água de chuva é semienterrado de alvenaria de tijolos, todo revestido de argamassa e coberto. Recebe águas de chuva através de um conjunto de pequenos canais e tubulações assim como o efluente da ETE. Em ambos os campi, as águas destes reservatórios são encaminhadas por bombeamento, para a irrigação, particularmente dos campos de futebol. A Tabela 3 destaca a caracterização das águas de chuva misturadas com o efluente tratado.

Conforme esperado, verifica-se uma grande melhora na qualidade dos efluentes tratados após a diluição dos mesmos com água de chuva. Como estas águas são utilizadas para a irrigação a razão de adsorção de sódio (RAS) foi avaliada, e para ambos os casos, a classificação de uso com base na sodificação foi considerada baixa, já que as RAS dos Campi de Caicó e Nova Cruz (Tabela 4) apresentaram valores menores que 3. Além disso, as concentrações de coliformes termotolerantes se mantiveram na faixa de 10^2 a 10^3 NMP/100 ml, apresentando ainda baixas concentrações de DQO, sólidos suspensos e turbidez.

Tabela 3 - Características medianas dos efluentes tratados (ET) e misturados com as águas de chuva (RAE – reservatório de água de chuva e esgoto tratado).

Parâmetro	Caicó		Nova Cruz	
	ET	RAE	ET	ERA
pH	7,6	7,5	8,3	7,6
Coliformes T (NMP/100 mL)	5,70E+05	540	9,80E+04	1025
DQO (mg/L)	154	57	204	45
Turbidez (uT)	49	16	98	10
Cor (uH)	246	113	480	47
Sólidos Suspensos (mg/L)	33	9	80	13
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	1000	242	1300	345
Condutividade (μ S/cm)	2370	483	2818	720
Alcalinidade (mg/L)	2890	213	4560	1380
Cloreto (mg/L)	162	64	330	123
Sódio (mg/L)	20	20	31	23
Potássio (mg/L)	21	14	21	14
Dureza total (mg/L)	ND	59	ND	42
Dureza de cálcio (mgCaCO ₃ /L)	ND	33	ND	37
Cálcio (mg/L)	ND	14	ND	15
Magnésio (mg/L)	ND	6,1	ND	1,5
Fósforo (mg/L)	0,7	0,1	0,6	0,6
Nitrato (mg/L)	0,8	1,1	1,8	5,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	19,7	1,3	30,3	2,6
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	1,2	0,2	2,1	0,5

Tabela 4 - Valores da razão de adsorção de sódio (RAS) dos reservatórios de água de chuva e esgoto tratado.

RAS	Unidade	Caicó	Nova Cruz
	meq/L	0,89	1,1

Conforme considerações de Marques et al. (2003), quando se avalia a qualidade da água para irrigação, deve-se atentar principalmente, além de outros problemas, para o risco de redução da capacidade de infiltração do solo. Diante disso, torna-se importante um conhecimento mais apurado sobre a ação do cálcio e do sódio nesse processo. Sendo assim, o cálcio contribui tanto para a estabilização dos agregados quanto para a estrutura do solo. Já o sódio provoca a dispersão de minerais de argila em partículas finas, podendo ocasionar a obstrução dos poros do solo. Então, pode-se considerar que a sodicidade tem capacidade para afetar a velocidade de infiltração da água no solo.

2.6 CONCLUSÕES

Com base neste estudo, realizado nas estações de tratamento de esgoto em campi dos IFRN, concluiu-se que:

De acordo com o diagnóstico, as estações de tratamento construídas in loco apresentaram maiores problemas de operação e manutenção, uma vez que os sistemas não foram bem projetados, a tipologia não tem operação adequada, existe um descaso com a manutenção das estações e ausência de capacitação de profissionais para operação e manutenção dos sistemas. Diante disso, recomenda-se a elaboração de manuais de operação e manutenção para cada campus e que os institutos realizem treinamentos com os profissionais para viabilizar um melhor desempenho dos sistemas.

Verificou-se também, que os afluentes e efluentes das estações de tratamento de esgoto das unidades educacionais avaliadas apresentaram características diferentes entre si, bem como de um esgoto predominantemente doméstico. Em virtude disso, considera-se relevante destacar que futuros monitoramentos de esgoto em unidades educacionais precisam levar em consideração: a tecnologia de tratamento utilizada, as condições operacionais, a destinação final dos efluentes, a manutenção, os usos da água, o horário e os dispositivos de coleta, o local, a sazonalidade e a ocupação temporária contribuinte.

Os sistemas de tratamento de esgotos apresentaram baixa eficiência. Dessa forma, acredita-se que se chegou a este resultado em virtude das precárias condições de operação e manutenção em que se encontraram as estações de tratamento (tubulações quebradas, estações tomadas por vegetação, instalações inadequadas, vazamento nos reatores, entre outros).

Quanto à prática de reuso de água adotada nos campi de Caicó e Nova Cruz, observou-se que a água de chuva tem importante papel na diluição de esgotos. A mistura do efluente com a água de chuva promoveu uma melhora na qualidade desse efluente, sendo a sua reutilização nas áreas verdes consideradas de baixa restrição conforme as RAS. Dessa maneira, faz-se necessário ressaltar a importância da prática de uso de esgoto com a diluição de água de chuva, pois, reduz o lançamento de esgotos em corpos receptores, protegendo os mananciais, além de minimizar gastos com o consumo de água, e contribuindo para a boa gestão dos recursos hídricos.

2.7 REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C. O. et al. Decanto-digestor seguido de filtros anaeróbios de fluxo ascendente e descendente afogados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999a. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/i-033.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

ANDRADE NETO, C O de. **Filtro Anaeróbio Aplicado ao Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2004. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande: UFCG, 2004.

ANDRADE NETO, C. O. de; CAMPOS, J. R. Introdução. In: CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB, 1999. cap. 1. p. 1-28.

ANDRADE NETO, C. O. de; HAANDEL, A. van; MELO, H. N. S. (2002). O uso do filtro anaeróbio para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios no Brasil. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Braga, Portugal. **Anais...** Braga: APESB/APRH/ABES, 2002. CD-ROM.

ANDRADE NETO, C. O. et al. Decanto-digestores. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999b. cap. 5. p. 117-138.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgoto sanitários: experiência brasileira**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 1997.

ANDRADE NETO, C. O. et al. Hidroponia Forrageira com Efluente de Filtro Anaeróbio. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

ANDRADE NETO, C. O. et al. Decanto-digestores. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 5. p. 117-138.

ANDRADE NETO, C. O. et al. Filtros anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB. cap. 6. p. 139-154.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. New York: American Public Health Association Inc., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES/RIMA, 2003.

- BASTOS, R. K. X. et al. Utilização de esgotos tratados em irrigação: aspectos sanitários. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: PROSAB, 2003. cap. 2. p. 23-59.
- BRANDÃO, D. N.; SCHERRENBURG, S. M.; LIER, J. B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes: a review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, v.122, p. 85-98, 2013.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental - UFM, 1997.
- CHERNICHARO, C. A. L., et al. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reuso da água. In: SANTOS, M. L. F.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap. 3, p. 63-110.
- CONAMA. **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: Ministério do Meio Ambiente, 2011.
- DEBOER, J.; LINSTEDT, K. D. Advances in water reuse applications. **Water Research**, v.9, n. 11, p. 1455-1461, 1985.
- HUERTAS, E. Key objectives for water reuse concepts. **Desalination**, v. 218, p. 120-131, 2008.
- JHANSI, S. C.; MISHRA, S. K. Wastewater treatment and reuse: sustainability options. **The Journal of Sustainable Development**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2013.
- KATO, M. T. et al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 3, p. 53-99.
- MARQUES, et al. Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES/RIMA, 2003, p. 61-118, 2003.
- MIZYED, N. R. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. **Environmental science & policy**, v. 25, p. 186-195, 2013.
- NUVOLARI, A. (Org.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- ORON, G. et al. Membrane technology for advanced wastewater reclamation for sustainable agriculture production. **Desalination**, v. 218, p. 170-180, 2008.
- PEREIRA, M. G. et al. Fertirrigação de milho com águas residuárias, no semi-árido nordestino. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E

AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande/MS. **Anais...** Campo Grande/MS: ABES, 2005. CD-ROM.

SANTOS, M. L. F.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

SOUZA, R. C. de; ISOLDI, L. A.; OLIZ, C. M. Tratamento de esgoto doméstico por filtro anaeróbio com recheio de bambu. **Vetor**, Rio Grande, v. 20, n. 2, p. 5-19, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas a ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 1996.

WEBER, S.; KHAN, S.; HOLLENDER, J. Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation. **Desalination**, v. 187, p. 53-64, 2006.

3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM CAMPI DO IFRN

3.1 INTRODUÇÃO

Na busca por um futuro sustentável, a sociedade precisa repensar suas atitudes e avançar, sobretudo, no que compete a utilização racional e adequada da água. Este recurso natural e renovável é considerado o mais valioso do mundo devido, principalmente, ao seu papel na construção e manutenção da vida. Embora isso seja de conhecimento geral, a crescente pressão sobre o uso da água tem representado um desafio para a humanidade, uma vez que o desenvolvimento nos diferentes campos depende da disponibilidade deste recurso (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009).

A demanda de água tem aumentado dramaticamente devido ao crescimento da população. Por outro lado, a oferta tem reduzido em virtude de mudanças nos padrões de precipitação, afetada principalmente pelos cenários climáticos (BOCANEGRA-MÁRTINEZ *et al.*, 2014). Para Luz (2005), outros fatores também têm acentuado o uso indiscriminado da água, como a expansão da agropecuária, o crescimento das indústrias e os hábitos da população. Esse uso excessivo e continuado tem provocado a desestruturação da capacidade de suporte desse recurso natural, podendo gerar desequilíbrios ambientais, econômicos e sociais.

Pensando no aumento da demanda e na baixa oferta da água, uma das alternativas encontradas tem sido o armazenamento da água de chuva (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009) não somente em regiões semiáridas, mas também em áreas úmidas (JONES; HUNT, 2010). Nessa perspectiva, o uso de cisternas para captação e armazenamento de água de chuva embora seja uma prática milenar, tem merecido nos últimos anos maior interesse e uma aplicação mais difusa (ANDRADE NETO, 2013).

Ademais, alguns dados nos permite compreender a dinâmica das cisternas de captação e armazenamento de água de chuva em algumas regiões do mundo. Na China, por exemplo, foram construídas mais de cinco milhões de cisternas nos últimos anos, enquanto que no sul da Austrália, a água de chuva tem sido utilizada como fonte de abastecimento por cerca de 80% da população rural e 30% da urbana. Em países como Alemanha e Japão, o uso de cisternas de águas pluviais também vem se expandindo significativamente (ANDRADE NETO, 2013). Todo esse crescimento voltado para a construção de cisterna tem permitido a conservação da água diante de uma demanda cada vez mais crescente.

Essa realidade não tem sido diferente em regiões semiáridas. A escassez de água tem permitido a propagação de políticas públicas para a construção de cisternas em regiões

castigadas pela seca no nordeste do Brasil. O programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) é uma ação do Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido da Articulação Semiárido Brasileiro (ASA), que já promoveu a construção de 523.654 cisternas até março de 2014, beneficiando mais de 2 milhões e 250 mil pessoas (BRASIL, 2014).

Outro programa atuante no semiárido brasileiro é o programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), também vinculado as ações da ASA, cujos objetivos são fomentar a construção de processos participativos de desenvolvimento rural no Semiárido brasileiro e promover a soberania, a segurança alimentar e nutricional e a geração de emprego e renda às famílias agricultoras, por meio do acesso e manejo sustentáveis da terra e da água para produção de alimentos (BRASIL, 2014).

Alguns Campi do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), inseridos nessa região semiárida, apresentam sistema de captação e armazenamento de água de chuva por meio de cisternas. A água armazenada vem sendo utilizada na irrigação de áreas verdes (jardins e campos de futebol). Embora essa atividade seja uma prática sustentável e de cunho educacional do ponto de vista socioambiental, nenhum estudo avaliou esse sistema de maneira que fosse identificada a caracterização da água de chuva, a área de captação, a capacidade dos reservatórios e a compatibilidade das atividades beneficiadas com esse uso.

Para tanto, preocupações constantes ainda existem sobre a qualidade das águas de cisternas e o seu uso correto, o que tem levantado discussões que envolvem a educação sanitária dos usuários e do manejo seguro, do projeto adequado e da inspeção regular, cujos fatores são necessários para manter a salubridade sanitária do sistema, bem como do ecossistema local.

Esse trabalho torna-se relevante uma vez que buscou conhecer a real situação dos sistemas de armazenamento de água de chuva de Campi do IFRN, apresentando um diagnóstico e avaliação de cada um deles, bem como a compatibilização da prática de uso com a atividade beneficiada com a água captada. Além disso, permitirá que os gestores responsáveis por cada IFRN atuem nas falhas encontradas, e assim contribuam para o melhor desempenho do sistema, da preservação e aproveitamento da água e da saúde ambiental local.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo geral

Analisar os sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em unidades educacionais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, a fim de contribuir para o uso racional, eficiente e sanitário da água de chuva armazenada, e servir de modelo para outras unidades educacionais.

3.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico dos aspectos físicos e operacionais dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva;
- Monitorar e caracterizar a água de chuva armazenada em cada Campus do estudo;
- Avaliar os sistemas de captação e armazenamento de água de chuva;
- Avaliar a prática de uso adotada.

3.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.3.1 Aproveitamento de água de chuva

O surgimento de novas fontes de água e o desenvolvimento de novas tecnologias para tratar e armazenar esse recurso têm sido fundamentais para atender à crescente demanda de água pública em todo o mundo (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010). Investigando essa temática, observa-se que uma forma bem prática e já atuante em diversos países tem sido o armazenamento de água de chuva (ANDRADE NETO, 2013), haja vista que essa atividade tem colaborado para a economia dos recursos hídricos e para a prevenção da escassez de água potável nos sistemas de distribuição municipais (BEZERRA *et al.*, 2010).

No curso dos anos, o aproveitamento de águas pluviais tem sido usado como uma alternativa para a conservação da água, sobretudo em regiões onde os recursos hídricos são escassos ou de acessibilidade precária. Atualmente, o interesse de pesquisadores e formuladores de políticas tem sido direcionado para estratégias de uso de água frente ao aumento do consumo de água, às alterações pluviométricas e à poluição de corpos aquáticos. Com base nisso, criam-se diretrizes, envolvendo a instalação, manutenção, custos e desempenho dos sistemas de armazenamento, para incentivar a prática de uso e reutilização da água (ESTADOS UNIDOS, 2013).

A água pluvial captada tem sido considerada uma fonte renovável e limpa, sendo ideal tanto para o uso doméstico quanto para atividade relacionadas com a paisagem. Na verdade, os sistemas de captação de água têm fornecido soluções flexíveis, e que podem ativamente atender às necessidades das pequenas e grandes localidades, em um processo continuado, e desenvolvido ao longo do tempo (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009).

A água de chuva tem sido aproveitada para diversas utilidades, apresentando-se como uma alternativa benéfica para minimizar a escassez de água. Para utilização agrícola, a água pode ser armazenada no subsolo por meio de sistemas naturais, protegendo-a da evaporação. Por outro lado, para utilização doméstica, a água da chuva precisa ter maiores cuidados, uma vez que sua qualidade pode ser afetada pela atuação de bactérias e substâncias perigosas (HELMREICH; HORN, 2009).

Ademais, considerações importantes ainda precisam ser esclarecidas e compreendidas acerca do aproveitamento de água de chuva. A água captada não deve simplesmente ser considerada pura e segura para consumo, fazendo-se necessário a implementação de algum método adequado de proteção sanitária e de tratamento. Durante o período de coleta, a água da chuva pode carrear contaminantes tais como poeiras e gases da atmosfera, sendo também

afetada por contaminantes do telhado a partir do qual são coletadas e de recipientes e/ou reservatórios de armazenamento (LUBITZ, 2009).

Para uma melhor contextualização e entendimento sobre o aproveitamento de água de chuva, desmembrou-se esta seção em subseções, apresentadas a seguir, com o intuito de facilitar a compreensão acerca dos seus aspectos físico, econômico, prático, sanitário e educativo.

3.3.1.1 Aspecto físico

Um aspecto físico do sistema de armazenamento de água, além do próprio reservatório ou simplesmente cisterna, é a área de captação, que são normalmente os telhados das casas ou indústrias. Vários materiais podem compor a área de captação, são exemplos: telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de zinco, telhas de ferro galvanizado, telhas de concreto armado, telhas de plástico, telhado plano revestido com asfalto, além de outros (TOMAZ, 2005).

Embora tenha sido verificado um extenso trabalho sobre o custeio dos tanques de armazenamento de água, é necessário mais estudos sobre o seu dimensionamento e projeto. Nesse sentido, é preciso que sejam considerados: o tamanho e o desenho do tanque de armazenamento de água; e orientações sobre a operação e manutenção dos sistemas de armazenamento de água de chuva, que precisa ser desenvolvido e divulgado para as comunidades beneficiadas. Entretanto, apenas uma abordagem integrada do sistema de armazenamento de água provavelmente vai garantir o seu sucesso (KAHINDA; TAIGBENU; BOROTO, 2007).

Para compreender o funcionamento de um sistema de captação e utilização de água de chuva devem-se levar em consideração os seguintes aspectos, conforme é citado por Cohim, Garcia e Kiperstok (2008):

- Superfície de captação (telhados, pátios e outras áreas impermeáveis podem ser utilizados como superfície de captação), cujo tamanho deve estar diretamente relacionado ao potencial de água de chuva possível de ser aproveitada;
- Calhas e tubulações utilizadas para transportar a chuva coletada;
- Tipo e a necessidade de tratamento das águas pluviais dependerão da qualidade da água coletada e do seu destino final;
- Concentrações de poluentes, galhos e outras impurezas nas águas pluviais são maiores nos primeiros milímetros da chuva, dessa forma não se recomenda a não utilização.

Outrossim, estudo realizado em 12 edifícios residenciais da Jordânia, país localizado em região semiárida, onde a escassez de água tem se configurado como um problema crônico, indicou que a água de chuva coletada pelos telhados pode ser utilizada para fins de consumo (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009). Durante os invernos, as águas podem ser captadas em maior quantidade, gerando alívio durante o período de estiagem. Por isso, que os reservatórios devem ser bem dimensionados, com base na oferta de água de cada localidade para que armazenem a água disponível, e assim, evite o desperdício.

O processo de construção da cisterna consiste nas seguintes etapas: escolha, preparação do terreno e escavação do buraco; confecção das placas para paredes e cobertura das cisternas; nivelamento do contrapiso e levantamento das paredes; reboco interno da cisterna e colocação da cobertura; e a construção das calhas e colocação dos canos. Esse tipo de cisterna (placas de cimento pré-moldadas) está sendo difundida na região semiárida, sendo aproveitados os telhados das casas como área de captação (MATIAS, 2001).

Essas cisternas de placas apresentam boa capacidade de armazenar a água da chuva escoada no telhado, além de demonstrar um baixo custo e uma maior durabilidade, em relação aos outros modelos convencionais (de tijolos, por exemplo). Por tanto, elas representam uma alternativa tecnológica adaptada à essa região e à realidade dos pequenos agricultores (MATIAS, 2001). Além disso, as cisternas não degradam nem danificam o meio ambiente como as barragens, e são construídas nas proximidades das residências (COSTA; AQUINO, 2013).

Quando se planeja a construção de uma cisterna, deve-se valer de vários pontos, que são: tamanho do reservatório, o qual depende de diversos fatores, dentre eles observa-se: regime de chuvas local; área de captação; a quantidade e o tipo de demanda, que são fundamentais para determinar o tamanho do reservatório; população residente; e tipos de consumo (COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008). Essas informações são imprescindíveis para determinar o bom funcionamento do sistema.

Destaca-se também, que se deve ter precauções com a utilização de tanques de armazenamento, a fim de promover um armazenamento adequado, minimizando possíveis contaminações humana, animal ou de outro elemento contaminante. É preciso que os tanques tenham tampas, que sejam bem encaixadas, impedindo o crescimento de algas e reprodução de mosquitos. Reservatórios descobertos não garante qualidade à água (HELMREICH; HORN, 2009).

A NBR 15527, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2007, apresenta em seu anexo seis métodos para o dimensionamento do volume do

reservatório de armazenamento da água de chuva: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano (BRASIL, 2007).

3.3.1.2 Aspecto econômico

A maior atratividade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais compete o baixo custo, acessibilidade e fácil gestão a nível familiar (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009). Sobre o enfoque da questão econômica, os sistemas de coleta de águas pluviais reduzem parte da demanda por água potável da rede de distribuição, e também supri as necessidades por outras demandas crescentes de água (ENVIROMENT AGENCY, 2010).

O reservatório deve ser dimensionado de forma bastante cautelosa, haja vista que o reservatório representa o item mais dispendioso do sistema de captação de água de chuva. Seu custo pode representar entre 50% e 85% do valor total de todo o sistema. Dessa forma, esses fatores refletem diretamente na viabilidade financeira e no sucesso do sistema (THOMAS, 2001).

Ademais, esses sistemas são capazes de reduzir o volume de água da chuva descarregada e, assim, pode contribuir para a redução dos riscos de inundação e a carga em sistemas de esgotos. Além disso, a água da chuva não requer tratamento químico, físico ou biológico antes do uso para a maioria das demandas não potáveis. Isso faz com que a manutenção de sistemas de captação de água de chuva seja, normalmente, fácil e de baixo custo (ENVIROMENT AGENCY, 2010).

Quando se avalia o custo de sistemas de captação de água da chuva é importante que seja compreendido os seguintes aspectos: o tipo de captação, o transporte, a cisterna ou tamanho do tanque, os materiais utilizados na fabricação do reservatório e a situação (ou seja, se o reservatório deve ser construído no subsolo ou sobre o solo). Sendo a parte mais onerosa de um sistema de água da chuva a construção da própria cisterna (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009; HELMREICH; HORN, 2009).

Do ponto de vista técnico e econômico, a seleção de modelos de reservatórios é uma tarefa bastante criteriosa. Nesse sentido, padronizar um único modelo e tamanho de reservatório não é uma atitude prudente, uma vez que há diferenças entre as características de cada localidade, onde se pretende implantar o sistema de armazenamento. Portanto, faz-se necessário destacar que o sucesso de um sistema de captação de água de chuva deve ser medido não apenas pelo seu impacto imediato, mas, também, pela capacidade de construir e manter o sistema acessível em longo prazo (THOMAS, 2001).

Estudo comparativo de duas escolas, uma municipal e outra estadual, localizadas no município de Florianópolis, Santa Catarina-Brasil, realizado por Fasola *et al.* (2011), averiguou o potencial de água potável através de um sistema de aproveitamento de água pluvial, equipamentos economizadores, ou combinação deles. Com base nesse trabalho, foi constatado que a combinação da instalação de equipamentos economizadores em conjunto com o aproveitamento de água pluvial, desempenhou o melhor potencial de economia de água potável. Em termos de valores, os resultados demonstraram que o aproveitamento foi em torno de 27,8% para a escola municipal e de 72,7% para a escola estadual.

3.3.1.3 Aspecto prático

Nos centros urbanos, a água de chuva pode ser normalmente aproveitada em atividades que não precisam de água potável, como na descarga de bacias sanitárias, na irrigação de jardins e na limpeza de pisos, equipamentos e carros. A necessidade do tratamento depende da qualidade da água de chuva armazenada, bem como da finalidade a que se destina. A água captada também pode ser aproveitada para fins potáveis em regiões onde se justifica essa necessidade (BEZERRA *et al.*, 2010), como é o caso de regiões semiáridas. Helmreich e Horn (2009) consideram que a água armazenada também pode ser utilizada para fins domésticos, rega de áreas verdes e atividades produtivas de pequeno porte.

Pensando na situação de instabilidade climática do semiárido brasileiro, as cisternas de água para consumo e produção de alimentos surgem como alternativa frente à falta de água. Em estudo realizado nessa região sobre o atendimento da capacidade das cisternas para o suprimento das famílias agricultoras, os resultados têm mostrado que o volume de água armazenado na cisterna de consumo (16 mil litros) atende as necessidades de beber e cozinhar durante, pelo menos, oito meses por ano (famílias com aproximadamente 4 membros). Quanto à cisterna de produção, 51% das famílias afirmaram que a água armazenada (52 mil litros) não é suficiente para aplicar às fruteiras e às hortaliças; embora, tenha sido colocado que a água também é utilizada para outras finalidades. Nesse sentido, os autores sugerem que as famílias sejam orientadas de modo que a água possa atender aos objetivos propostos (BRITO *et al.*, 2012).

Ainda nessa contextualização, Araújo, Brito e Cavalcanti (2011) avaliaram o incremento nutricional das frutas produzidas com água armazenada em cisterna, no âmbito de cinco unidades familiares do semiárido brasileiro, mais especificamente no estado da Bahia. Esses autores verificaram que a qualidade dos frutos superou as necessidades nutricionais diárias das famílias, em especial as de vitamina C. Além disso, apresentaram significativos teores de

sais minerais como cálcio (13 mg), magnésio (13 mg), potássio (165 mg) e fibras, contribuindo assim, com a qualidade nutricional dos beneficiados.

3.3.1.4 Aspecto sanitário e educativo

As características físico-químicas e microbiológicas da água de chuva podem depender da qualidade do ar. Isso implica dizer que poluentes atmosféricos (partículas, microrganismos, metais pesados e/ou substâncias orgânicas) dispersos se aderem a umidade presente no ar, e cai junto com a chuva, atingindo as zonas urbanas e rurais. De maneira comparativa, a água da chuva que nas zonas rurais é mais propensa a ter uma melhor qualidade quando comparada a uma região urbana, haja vista que a região rural estar situada longe de poluições atmosféricas e industriais (HELMREICH; HORN, 2009).

Diante do que foi comentado no parágrafo anterior e valendo-se da proteção sanitária da qualidade da água de cisternas, Andrade Neto (2013) pondera como barreiras físicas eficazes, o aperfeiçoamento de dispositivos de descarte das primeiras águas de cada chuva, o desenvolvimento de novas bombas, a avaliação e o aperfeiçoamento de bombas manuais disponíveis, bem como a sua aplicação.

Na literatura, encontram-se diversos tipos de dispositivos para proteção sanitária de cisternas, os quais incluem: grades ou peneiras autolimpantes; um arsenal de filtros telados ou com centrifugação; filtros de areia externos ou internos; e dispositivos diversos, mas de difícil aplicabilidade, ou muito sofisticados, com sensores de qualidade da água e comandos eletrônicos e eletromecânicos para desvio das primeiras águas (ANDRADE NETO, 2013).

Em trabalhos anteriores, observa-se a apresentação de dispositivos para desvio automático da água inicial da chuva. Dacach (1979) apresenta um tanque para desvio de fluxo antecedido de uma tela, inicialmente sem finalidade, mas também apresenta um tanque baseado no princípio do limite de compressibilidade da água e do fecho hídrico por equilíbrios de pressões. Esse modelo fundamenta um dos dois tipos de desvio automáticos mais utilizados atualmente, embora inclua uma boia interna que na verdade tem sido considerada desnecessária (ANDRADE NETO, 2013).

Em outro estudo, Fendrich e Oliynik (2002) mostram dispositivos de desvio de fluxo acionados eletronicamente e outros mecanismos sofisticados que foram utilizados no Japão, filtros não autolimpantes e um tanque de desvio para descarte da chuva inicial com uma desnecessária boia interna. Em contribuição a essa temática, Lee e Visscher (2000) incluem dispositivos mais complexos para desvio dos primeiros milímetros de água.

Andrade Neto (2005) considera que a implantação de dispositivo para o desvio das

primeiras águas de chuvas nos próprios reservatórios precisa ser extremamente simples e barato. O dispositivo apresentado por ele, conforme pode ser observado no desenho esquemático (Figura 18), é considerado o mais simples dentre os demais (MARTINSON; TOMAS, 2003; XAVIER *et al.*, 2009), barato e eficiente para o desvio automático do fluxo das primeiras águas das chuvas, a fim de evitar a contaminação da água da cisterna por meio da sujeira acumulada na superfície de captação, que é a principal causa de deterioração da qualidade da água. Em outras palavras, o dispositivo trata-se de um pequeno tanque localizado na cobertura da cisterna, para o qual são desviadas diretamente as primeiras águas de cada chuva, simplesmente utilizando-se de um cano em “T”, que se encontra intercalado na tubulação de entrada da cisterna. Portanto, com esse dispositivo, perde-se pouca quantidade de água, a qual pode ser aproveitada em usos menos exigentes, entretanto, a água da cisterna ganha em qualidade (ANDRADE NETO, 2005; MELO; ANDRADE NETO, 2007).

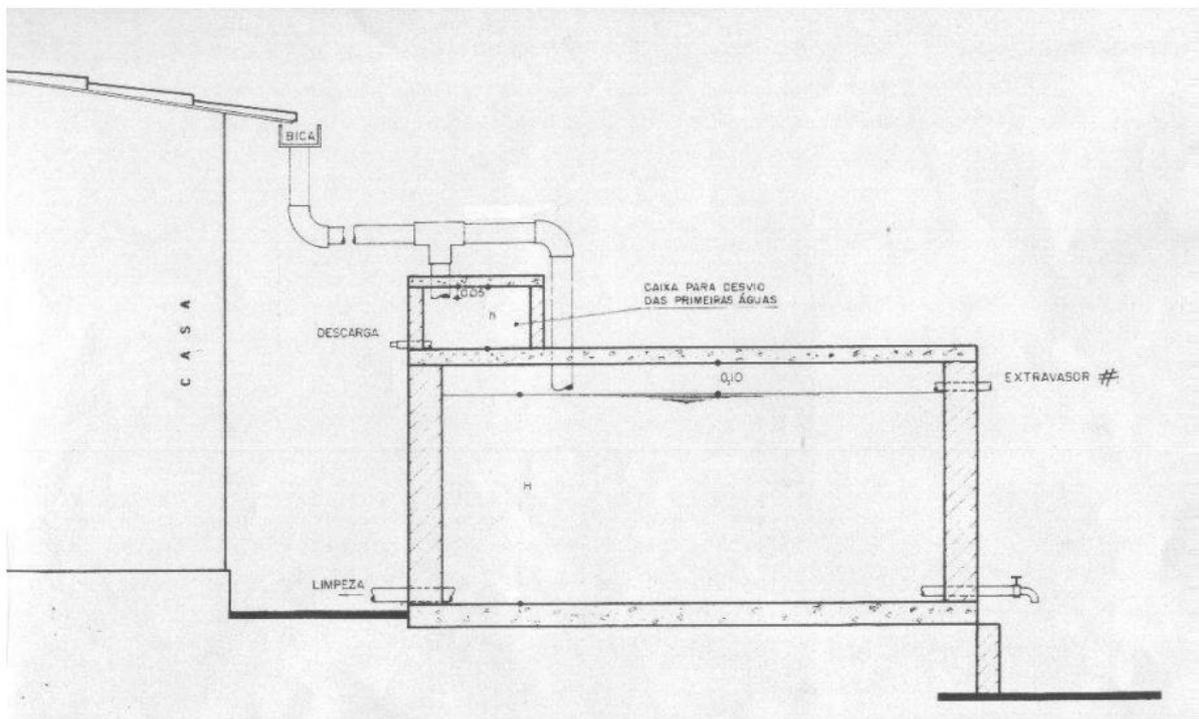


Figura 18 - Dispositivo para desvio automático das primeiras águas das chuvas.
Fonte: Andrade Neto (2005).

Outrossim, faz-se preciso pensar que seguridade sanitária de cisternas também está ligada com a educação e conscientização dos usuários. Nesse contexto, Baguma *et al.* (2010) verificaram que um dos maiores problemas encontrados nos sistemas de armazenamento de água de chuva é a falta de consciência sobre a necessidade de cuidar de calhas em residências rurais, as quais são responsáveis pelo transporte da água até os reservatórios. Esses autores acrescentam também que a construção de sarjeta adequada e a gestão da qualidade da água de

chuva, o tratamento e diferença entre os usos da água não podem ser subestimada. Assim, a água necessita de um tratamento adicional antes de ser utilizada em ambiente doméstico.

Essa questão realça a necessidade de educar o público alvo sobre as formas de prevenção acerca dos riscos para a saúde e as implicações sociais decorrentes do aproveitamento de águas pluviais. Nessa perspectiva, destaca-se também que se as famílias rurais têm acesso a informações adequadas sobre a manutenção das cisternas, elas garantem a qualidade da água da chuva (BAGUMA *et al.*, 2010). E dessa forma, elas também podem contribuir para o funcionamento do sistema integrado de armazenamento de água de chuva.

3.3.2 Sistema integrado de armazenamento de água de chuva

O sistema de armazenamento de água de chuva para que atinja a sustentabilidade é preciso que haja uma colaboração entre o governo, o setor privado (ONGs e cientistas) e as famílias rurais, mas também é necessária uma abordagem de sistema integrado, valendo-se da quantidade e qualidade da água fornecida, bem como dos custos associados à implantação. Em outras palavras, um sistema de armazenamento de água pode ser considerado sustentável quando abrange além dos atributos físicos (pluviosidade, localização e características) de captação e dos atributos socioeconômicos, a qualidade da água da chuva e das fontes de água alternativas (KAHINDA; TAIGBENU; BOROTO, 2007).

Com o aumento de planejamento, conscientização pública e educação, os sistemas de captação de água da chuva se apresentam como importantes ferramentas no edifício verde e do desenvolvimento sustentável, tendo em vista que promovem a redução da demanda sobre abastecimento de água municipal e os impactos negativos associados com escoamento de águas pluviais urbanas (JONES; HUNT, 2010).

Nessa perspectiva, o aproveitamento de águas pluviais não surge apenas como uma alternativa para aumentar o abastecimento, mas também se configura como uma ferramenta capaz de envolver a sociedade na gestão desse recurso. Portanto, os incentivos e apoios governamentais são mecanismos essenciais para incentivar a captação de chuva de chuva (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009), sendo as unidades educacionais agregadoras de valores nesse sentido.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram planejadas 5 etapas subsequentes conforme detalhadas a seguir: a) Levantamento de informações sobre os sistemas de captação e armazenamento de água de chuva; b) Realização de visitas in loco para vistoria dos sistemas; c) Monitoramento e caracterização das águas armazenadas pelos sistemas estudados; d) Avaliação dos sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de água de chuva; e) Análises estatísticas.

3.4.1 Levantamento dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, conta atualmente com 18 campi construídos e 2 em construção, distribuídos entre 16 municípios e localizados em diversas regiões do Estado, conforme pode ser observado na Figura 19 (<http://portal.ifrn.edu.br/>).

As informações sobre os sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva adotados em cada campus foram obtidas junto a Diretoria de Engenharia do IFRN. Os campi encontram-se presentes em diversas localidades, alguns na região do semiárido, com escassez de recursos hídricos.

A quantidade de águas pluviais potencialmente captáveis para ser utilizada nos campi do IFRN foi calculada a partir dos índices pluviométricos mensais obtidos através dos dados do Clima Tempo (<http://www.climatempo.com.br/>). Além disso, realizou-se o levantamento das áreas de captação e a capacidade de armazenamento, as quais foram obtidas por meio da análise dos projetos arquitetônicos dos campi do IFRN.

O consumo de água foi avaliado através de contas fornecidas pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN).

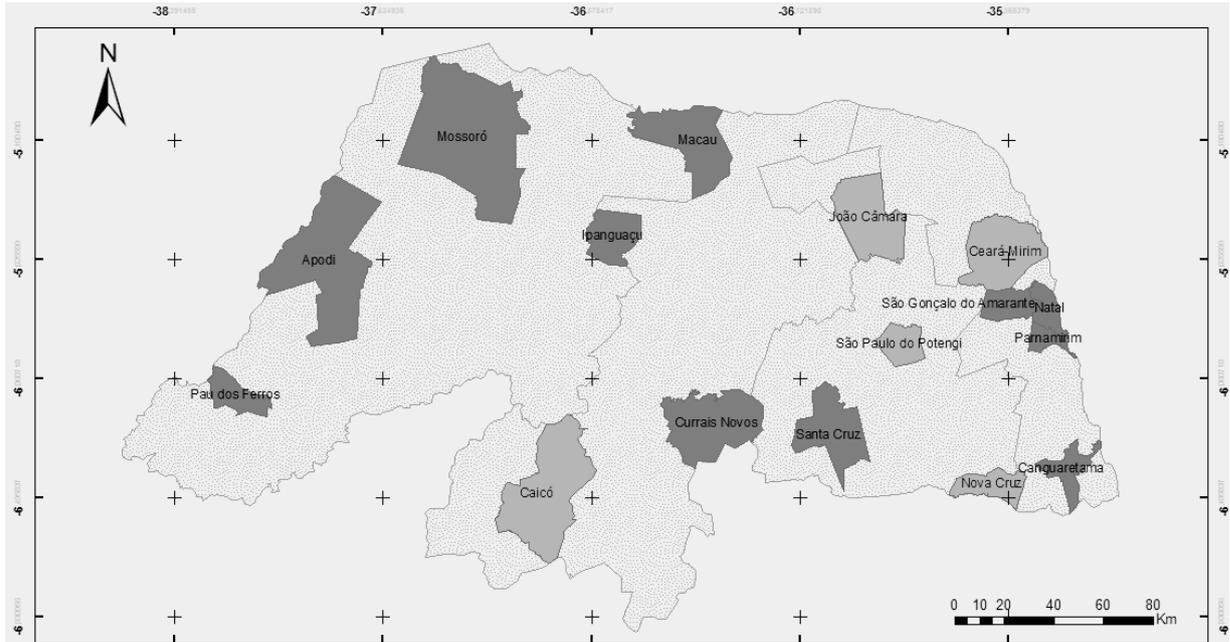


Figura 19 - Municípios do Rio Grande do Norte que possuem campi do IFRN

3.4.2 Visitas *in loco* para verificação dos sistemas

Para caracterizar cada sistema de captação e armazenamento de água de chuva e comprovar as informações obtidas junto a Diretoria de Engenharia do IFRN, foram realizadas verificações *in loco* nos campi, no mês de março de 2014, destacando entre outros, as áreas de captação, materiais da superfície de captação, tipos e volumes de reservatórios, o estado físico das instalações, as condições operacionais e o destino da água armazenada.

3.4.3 Monitoramento e caracterização da água de chuva armazenada

Após a avaliação dos resultados obtidos durante a realização das vistorias de campo, foram selecionados para serem monitorados os quatro sistemas de armazenamento de água de chuva localizados nos campi de Canguaretama, Ceará-Mirim, Currais Novos e São Paulo do Potengi.

Cada sistema foi monitorado com frequência mensal durante o período de março a setembro de 2014, no período da manhã. Em todos os sistemas foram coletadas amostras da água de chuva retiradas dos reservatórios de armazenamento.

Após as coletas, as amostras eram colocadas em frascos de polipropileno e acondicionadas em caixa térmica com gelo. Em seguida, as amostras eram encaminhadas imediatamente para os laboratórios de análises de águas e efluentes da Diretoria de Recursos Naturais, Campus Natal – Central, onde foram realizadas as análises físico-químicas e

microbiológicas, conforme os respectivos métodos analíticos apresentados no Quadro 4. A metodologia das análises seguiu as recomendações padrões descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005).

Quadro 4 - Variáveis e método analítico.

Água de chuva	Unidade	Método Analítico
Ph	-	Potenciométrico
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Potenciométrico
Sólidos Totais Dissolvidos	mg.L^{-1}	Potenciométrico
Cor	$\text{uH (mg Pt-Co.L}^{-1}\text{)}$	Colorimétrico
Turbidez	uT	Nefelometria
Sódio	mg.L^{-1}	Fotometria de chama
Potássio	mg.L^{-1}	Fotometria de chama
Magnésio	mg.L^{-1}	Titulométrico
Cálcio	mg.L^{-1}	Titulométrico
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Tubos Múltiplos
Ortofosfato	mg.L^{-1}	Colorimétrico – cloreto estanhoso
Nitrato	mg.L^{-1}	Colorimétrico -Salicilato de Sódio
Cloreto	mg.L^{-1}	Titulométrico – argentométrico
Alcalinidade	mg.L^{-1}	Titulométrico – potenciométrico
Nitrogênio amoniacal	mg.L^{-1}	Colorimétrico – Nesler

Fonte: AWWA, APHA e WEF (2005)

3.4.4 Avaliação dos sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de água de chuva

A avaliação dos sistemas de armazenamento de água foi realizada com base no levantamento da oferta de águas pluviais e do armazenamento, na estimativa de consumo de água e na caracterização da água de chuva armazenada.

As áreas de captação foram estimadas a partir das plantas arquitetônicas, após a verificação in loco das instalações de coleta (caimento dos telhados, calhas e tubulações, etc). A estimativa do volume de água de chuva que potencialmente pode ser captado por ano foi calculado através da multiplicação da área de captação pela precipitação média anual (últimos 30 anos) dos municípios e pelo coeficiente de escoamento superficial “C”, estimado em 80% ($C = 0,8$).

Para avaliar o dimensionamento dos reservatórios de água de chuva, utilizou-se dos volumes estimados de reservação de cada campus, mensurados com base em 3 métodos (Azevedo Neto, Alemão e Inglês), enquanto que os volumes de demanda foram estimados pelo método de Rippl. Todos os métodos estão descritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15.527 (BRASIL, 2007).

Pelo método Azevedo Neto o volume de cisterna foi obtido através da seguinte equação (BRASIL, 2007):

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (3)$$

Onde: P é a precipitação média anual, em milímetros; T é o número de meses de pouca chuva ou seca; A é a área de coleta, em metros quadrados; V é o volume de água do reservatório, em litros.

Já pelo método prático Inglês, o volume de chuva foi obtido através da seguinte equação (BRASIL, 2007):

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (4)$$

Onde: P é a precipitação média anual, em milímetros; A é a área de coleta, em metros quadrados; V é o volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, em litros.

Em relação ao método prático Alemão, que se trata de um método empírico em que se toma o menor valor do volume do reservatório (6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável), o volume de chuva foi obtido por meio da seguinte equação (BRASIL, 2007).

$$V_{\text{dotado}} = \min(V; D) \times 0,06 \quad (5)$$

Sendo: V é o volume aproveitável de água de chuva anual, em litros; D é a demanda anual da água não potável, em litros; Vadotado é o volume de água do reservatório, em litros.

O método de Rippl geralmente, superdimensiona o reservatório, podendo ser utilizado para verificar o limite superior do volume do reservatório de acumulação de águas de chuva por meio da equação 6. Lembrando que neste método podem-se usar as séries históricas mensais (maneira mais comum) ou simplesmente diárias (BRASIL, 2007).

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (6)$$

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação}$$

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0$$

$$\text{Sendo que: } \sum D(t) < \sum Q(t)$$

Onde: S(t) é o volume de água no reservatório no tempo t; Q(t) é o volume de chuva aproveitável no tempo t; D(t) é a demanda ou consumo no tempo t; V é o volume do reservatório, em metros cúbicos; C é o coeficiente de escoamento superficial.

A prática de uso foi avaliada através de comparações entre os dados da qualidade (variáveis físico-químicas e microbiológicas) das águas captadas nos campi com os valores permissíveis pela Resolução CONAMA 357/2005, no caso para irrigação. Já em relação ao aproveitamento de água para consumo humano, a comparação foi realizada por meio da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

3.4.5 Análises estatísticas

Os dados referentes a qualidade da água armazenada foram submetidos a estatística descritiva básica para a obtenção dos valores de tendência central (média, mediana, moda), de dispersão (desvio padrão e quartis) e faixas de variação (mínimo e máximo). Posteriormente foram realizados testes de normalidade, sendo tal hipótese rejeitada. Dessa forma optou-se pela utilização da mediana como o valor característico da tendência central.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Levantamento dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva

De acordo com as informações obtidas junto a Diretoria de Engenharia do IFRN, dos 18 campi, apenas 4 (Canguaretama, Ceará Mirim, Currais Novos e São Paulo do Potengi), apresentam sistemas de captação e armazenamento de água de chuva já instalados e em operação. Destaca-se que nos campi de Caicó e Nova Cruz também existem sistemas de captação de águas de chuva, no entanto, estas são misturadas diretamente com os efluentes das estações de tratamento de esgotos existentes nos respectivos campi, e utilizadas apenas para a irrigação dos campos de futebol e, dessa forma, não foram objetos de estudo nesta etapa.

As precipitações médias anuais dos últimos 30 anos nos municípios onde os campi estão localizados são de 631 mm (Currais Novos), 781 mm (São Paulo do Potengi), 1150 mm (Canguaretama) e 1343 mm (Ceará-Mirim). As precipitações médias mensais (últimos 30 anos) estão destacadas na Tabela 5 e foram posteriormente utilizadas para estimar o potencial de captação de água de chuva, assim como avaliar os volumes necessários para a reservação da água.

Tabela 5 - Precipitações mensais médias nos municípios com campi do IFRN que coletam água de chuva.

Meses	Canguaretama	Ceará Mirim	Currais Novos	São Paulo do Potengi
Janeiro	66	58	71	51
Fevereiro	89	128	93	72
Março	145	209	145	122
Abril	178	200	141	139
Maio	156	192	72	102
Junho	182	176	36	112
Julho	146	166	21	87
Agosto	80	69	14	45
Setembro	40	59	6	20
Outubro	20	31	7	8
Novembro	21	25	6	9
Dezembro	27	30	19	14
Total	1150	1343	631	781

Fonte: Climatempo, 2015.

As áreas de cobertura das estruturas físicas de cada campus que potencialmente podem ser aproveitadas para a captação de água de chuva, foram obtidas através dos projetos arquitetônicos e estão detalhadas na Tabela 6. Os dados apresentados indicam que em termos de área, existe um grande potencial para a captação de água de chuva nos quatro campi. As áreas de cobertura superam os 5000 m² em cada um dos 4 campi avaliados com destaque para o Campus de Currais Novos que apresenta uma área total de cobertura próxima de 11.000 m². As áreas efetivas de captação foram confirmadas posteriormente durante as verificações in loco.

Tabela 6 - Áreas de cobertura dos prédios nos quatro campi avaliados.

Canguaretama	Ginásio	830,41 m²
	Bloco de Educação Física	831,76 m ²
	Prédio Principal	1840,56 m ²
	Prédio Anexo	1060,69 m ²
	Área de Vivência	874,75 m ²
	Auditório	464,77 m ²
	ÁREA TOTAL	5902,94 m²
Ceará Mirim	Ginásio	1660,32 m ²
	Bloco de Educação Física	831,76 m ²
	Prédio Garagem	261,00 m ²
	Prédio Principal	1840,56 m ²
	Prédio Anexo	947,75 m ²
	Área de Vivência	874,75 m ²
	Auditório	464,77 m ²
ÁREA TOTAL	6880,91 m²	
Currais Novos	CT Queijo	2111,47 m ²
	Bloco de Educação Física	650,00 m ²
	Prédio Garagem	310,65 m ²
	Prédio Principal	5975,96 m ²
	Bloco x	947,75 m ²
	Bloco y	480,65 m ²
	Anexo	389,71 m ²
	ÁREA TOTAL	10866,19 m²
São Paulo do Potengi	Ginásio	830,41 m ²
	Bloco de Educação Física	831,76 m ²
	Laboratórios e Almoxarifado	273,31 m ²
	Prédio Principal	1130,87 m ²
	Prédio Anexo	999,82 m ²
	Área de Vivência	874,75 m ²
	Auditório	464,77 m ²
	ÁREA TOTAL	5405,69 m²

Para avaliar a importância do aproveitamento da água, por meio das demandas que poderiam ser supridas pela água de chuva, também foram obtidos os dados referentes aos consumos de água em 11 campi do IFRN incluindo 3 com sistemas de coleta de água de chuva, apresentados resumidamente na Tabela 7. Pode ser observado que dos 11 campi,

apenas 2 (Macau e São Paulo do Potengi) não possuem poços próprios e, dessa forma, todo o abastecimento é realizado através de rede pública. Os campi de Apodi, Mossoró e Parnamirim são abastecidos exclusivamente por poços próprios, sendo o de Apodi, devido a sua atuação nas áreas de agricultura e pecuária, o campus com o maior consumo de água (7200 m³/mês) e o único com medição. Nos demais campi destacados na tabela 7, o abastecimento é realizado através da rede pública e poços próprios (todos sem medição). Nos campi de Canguaretama, Currais Novos e São Paulo do Potengi os consumos mensais de água fornecida pela rede pública foram de 163, 180 e 213 m³, respectivamente. Não foram obtidos resultados do campus de Ceará-Mirim.

Tabela 7 - Dados sobre o consumo de água 11 campi do IFRN.

CAMPUS	Consumo mensal de água (m ³)	
	Rede de abastecimento	Poço Próprio
Apodi	-	7200
Caicó	410	Sim – sem medição
Canguaretama	163	Sim – sem medição
Currais Novos	180	Sim – sem medição
Macau	1242	Não
Mossoró	-	Sim – sem medição
Natal Zona Norte	522	Sim – sem medição
Nova Cruz	330	Sim – sem medição
Parnamirim	-	Sim – sem medição
Santa Cruz	225	Sim – sem medição
São Paulo do Potengi	213	Não

3.5.2 Visitas *in loco* para verificação dos sistemas

As verificações *in loco* foram realizadas no mês de março de 2014 nos quatro campi que já apresentavam um sistema para coleta e armazenamento de água de chuva, sendo apresentadas, a seguir, as principais observações obtidas em cada unidade.

Nos campi de Canguaretama, Ceará-Mirim e São Paulo do Potengi, todos os sistemas de armazenamento são feitos com reservatórios de fibra de vidro com volumes de 20 m³, todos interligados pelo sistema de vasos comunicantes. É importante também destacar que nesses três campi os sistemas não dispõem de estações elevatórias para o aproveitamento da água de chuva e, qualquer excedente de água captada vai ficar acumulada dentro da área onde os reservatórios foram instalados e escoar para o solo. Com relação a proteção sanitária destaca-se que os sistemas não contam com dispositivos de descarte das primeiras águas nem grelhas para a retenção de sólidos grosseiros.

Em Canguaretama foram identificados dois sistemas sendo um, com 6 reservatórios,

que recebe água captada do prédio principal, enquanto que o segundo tem 5 reservatórios e recebe água do prédio anexo. Os dois sistemas estão enterrados no solo dentro de uma área isolada com paredes de alvenaria, cobertos por lajes (Figura 20). Durante a vistoria de campo, assim como no período de monitoramento, foi observado a dificuldade na tomada de amostras devido ao acesso aos reservatórios. Verificou-se, também, a ocorrência de vazamentos que, pelo fato dos reservatórios estarem isolados dentro de um ambiente com lajes, não foi solucionado durante a pesquisa. Para que seja realizada qualquer atividade de operação e/ou manutenção do sistema será necessário remover toda a laje de cobertura. No campus de Ceará-Mirim a captação da água de chuva é realizada no prédio principal e armazenada em 5 reservatórios (Figura 21). O sistema estava bem mantido e foi construído de modo a facilitar todas as atividades operacionais e de manutenção. O campus de São Paulo do Potengi conta com dois sistemas para o armazenamento de água de chuva. O sistema com 4 reservatórios capta água do prédio principal enquanto que outro sistema com 1 reservatório capta água do ginásio de esportes, e está localizado junto aos reservatórios de água potável da rede pública de abastecimento (Figura 22).



Figura 20 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Canguaretama (a – prédio principal; b – ginásio).



Figura 21 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Ceará-Mirim (a – vista geral; b – detalhe do extravasor e vasos comunicantes).



A **B**
 Figura 22 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de São Paulo do Potengi (a – captação do prédio principal; b – captação do ginásio de esportes).

O Campus de Currais Novos conta com 5 reservatórios de alvenaria, revestidos com argamassa, cada um com 60 m^3 de capacidade de dispostos em diversos locais do campus de acordo com proximidade da área de captação (Figura 23). Devido aos constantes problemas relacionados com falta de água fornecida pela rede de abastecimento público, o campus já adota há algum tempo a prática do uso de água de chuva para complementar suas necessidades de consumo. Dessa forma, os sistemas contam com estações elevatórias que bombeiam a água para uma caixa d'água de fibra de vidro, localizada logo abaixo do reservatório elevado principal do campus (Figura 23c). Sempre que possível a área de captação vem sendo ampliada, sendo atualmente o campus que apresenta a maior área com o sistema de calhas implantado para a captação das águas de chuva com aproximadamente 3500 m^2 .

Como um dos principais usos para a água de chuva no campus de Currais Novos é consumo humano, sendo inclusive a água que abastece os bebedouros, é importante destacar a importância de se ter uma água de elevada qualidade sanitária, isenta de microrganismos. Dessa forma, se faz importante destacar que embora tenham sido instalados a montante dispositivos filtrantes contendo grelhas para a retenção de sólidos, os reservatórios não apresentam dispositivos para o descarte das primeiras águas. No entanto, como proteção sanitária, toda a água distribuída é clorada utilizando pastilhas de cloro específicas para a desinfecção de água para consumo humano. Durante as inspeções dos sistemas nas visitas in loco foi observado que os dispositivos de proteção sanitária a montante dos reservatórios já estavam há muito tempo sem manutenção, contendo muita vegetação e areia dentro das caixas de passagem e, em alguns dos filtros as telas não haviam sido instaladas (Figura 24).

A Tabela 8 apresenta um resumo referente a quantidade de reservatórios de água de chuva, seus volumes individuais, a capacidade total de armazenamento e as áreas estimadas

de captação em cada um dos 4 campi.



A



B



C



D

Figura 23 - Vista dos reservatórios de água de chuva no campus de Currais Novos (a – reservatório; b – reservatório; c – reservatório elevado; d – detalhe das calhas de captação).



Figura 24 - Vista dos filtros instalados a montante dos reservatórios no campus de Currais Novos.

Tabela 8 - Unidades do IFRN com sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva.

Campus	Quantidade x Volume (m³)	Volume total (m³)	Área de captação (m²)	Volume potencial de captação (m³/ano)
Canguaretama	11 x 20	220	2900	2668
Ceará-mirim	5 x 20	100	1841	1978
Currais Novos	5 x 60	300	3500	1767
São Paulo do Potengi	5 x 20	100	1961	1225

Os resultados indicam um potencial de captação variando entre 1225 m³/ano (São Paulo do Potengi) a 2668 m³/ano (Canguaretama) que, com exceção do campus de Currais Novos, não vem sendo aproveitado devido a inexistência de estruturas próprias para tal.

Utilizando alguns dos métodos para o dimensionamento de reservatórios de água de chuva citados na NBR 15.527/07, os volumes de reservação de cada campus foram checados (Tabela 8). Posteriormente, adotando os volumes reais de reserva, as demandas de água que poderiam ser supridas em cada campus pela água de chuva foram estimadas utilizando o Método de Rippl (Tabela 9). Comparando os volumes estimados com o volume real de reservação existente em cada um dos campi, observa-se que apenas o de Canguaretama apresenta uma capacidade instalada (220 m³) maior que a faixa estimada pelos 3 métodos utilizados. Para os demais campi a capacidade de armazenamento encontra-se dentro da faixa estimada. Através do Método de Rippl, foram estimados valores de demandas que poderiam ser supridas pela água de chuva (55 a 118 m³/mês), representando para os campi de Canguaretama, Currais Novos e São Paulo do Potengi, 72%, 44% e 26% do consumo de água da rede pública. Para o campus de Ceará-Mirim, 100 m³/mês poderia ser suprido pela água de chuva.

Tabela 9 - Estimativas de volumes de reservação de demandas de consumo.

Volumes estimados para reservação (m ³)	CAMPUS				
	Canguaretama	Ceará-Mirim	Currais Novos	São Paulo do Potengi	
Método	Azevedo Neto	140	104	371	193
	Alemão	160	119	106	74
	Inglês	167	124	110	77
Demandas estimadas (m³/mês)					
Método	Rippl	118	100	80	55

3.5.3 Monitoramento da qualidade da água de chuva

Com base nos resultados da avaliação realizada in loco, foram definidos os pontos de

coleta nos 4 sistemas de armazenamento de água de chuva nos campi de Canguaretama, Ceará-Mirim, Currais Novos e São Paulo do Potengi. Cada sistema foi monitorado com frequência mensal durante o período de março a setembro de 2014, no período da manhã.

Embora o pH da água de chuva seja reconhecidamente como levemente ácido o contato da água com as superfícies de coleta tende a modifica-lo. Em todos os pontos foram observados valores de pH alcalinos, com medianas variando entre 7,5 a 7,7. As águas apresentaram medianas de alcalinidades variando entre 73 mgCaCO₃/L (Currais Novos) a 600 mgCaCO₃/L (São Paulo do Potengi).

Mesmo sem a presença dos dispositivos de proteção sanitária as águas apresentaram concentrações medianas de turbidez (0 – 3,0 uT) e cor (1,0 – 13,5 uH), conforme indicado na Figura 25. Da mesma forma, foram verificados baixos valores de condutividade e sólidos totais dissolvidos (Figura 26). A mediana de condutividade variou entre 76 e 143 µS/cm enquanto que para os sólidos totais dissolvidos a variação foi entre 41 e 84 mg/L. As concentrações de sólidos suspensos em todas as amostras analisadas foram sempre inferiores a 10 mg/L, o fosforo total e o nitrogênio amoniacal variaram em torno de 0,1 mg/L.

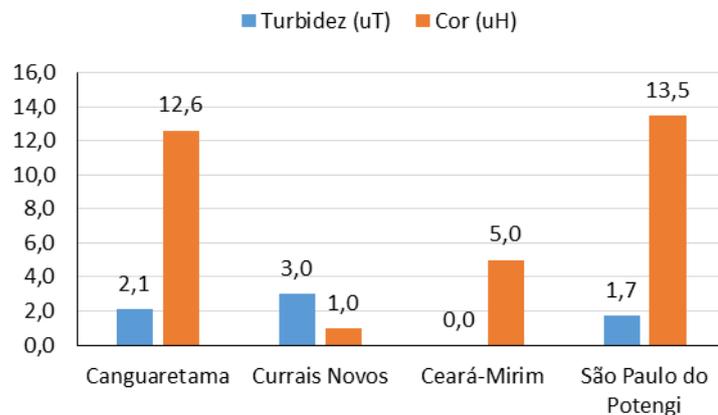


Figura 25 - Concentrações medianas de turbidez e cor nas amostras de água de chuva.

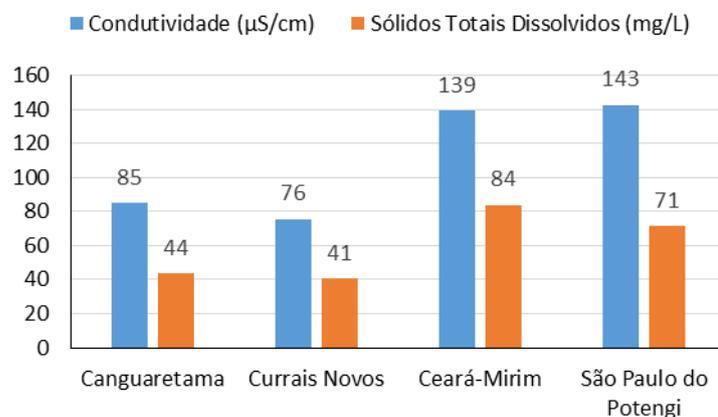


Figura 26 - Concentrações medianas de condutividade e sólidos totais dissolvidos nas amostras de água de chuva.

Nas amostras analisadas, foi detectada a presença de coliformes termotolerantes resultando em concentrações medianas de 13 NMP/100 ml (Canguaretama), 15 NMP/100 ml (Ceará-Mirim) e 21 NMP/100 ml (São Paulo do Potengi). Em Currais Novos, como a água de chuva é utilizada para abastecimento do campus, após a detecção de coliformes na primeira amostra coletada, foi realizada uma inspeção e limpeza dos pré-filtros a montante dos reservatórios, a substituição dos filtros de todos os bebedouros e a desinfecção da água com pastilhas de cloro específicas para consumo humano. Posteriormente, nas demais análises não foram detectadas a presença de coliformes termotolerantes.

A Tabela 10 apresenta as concentrações medianas das demais variáveis analíticas monitoradas nas águas de chuva coletada nos quatro campi.

Tabela 10 - Concentrações medianas de alguns sais nas amostras de águas de chuva.

Variável (mg/L)	Canguaretama	Currais Novos	Ceará-Mirim	São Paulo do Potengi
Cloreto	10,0	9,1	15,0	17,5
Dureza total	30,6	33,3	46,8	47,7
Cálcio	9,5	9,2	11,8	11,8
Magnésio	1,7	1,5	6,1	3,0
Sódio	18,7	10,3	16,2	10,2
Potássio	19,5	11,9	4,4	11,6

De maneira geral, os melhores resultados foram verificados no Campus de Currais Novos e podem está relacionados as melhores condições operacionais e de manutenção do sistema. Além disso, como é o único campus aonde a água já vem sendo aproveitada, existe uma contínua renovação da mesma dentro dos reservatórios.

Considerando que um dos usos mais prováveis para a água de chuva é a irrigação de áreas verdes dos campi, a mesma deveria apresentar qualidade compatível com Água Doce – Classe 2 de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto). Considerando todos os resultados obtidos, verifica-se que tal qualidade é atendida pelas quatro amostras de águas de chuva.

Com relação ao aproveitamento da água para consumo humano, como já realizado no Campus de Currais Novos, é importante destacar que para a maioria das variáveis monitoradas foram verificadas concentrações abaixo dos valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Todos os resultados de turbidez, amônia, cloreto, dureza total, sólidos totais dissolvidos foram inferiores aos VMP pela Portaria. Nos

campi de Canguaretama e São Paulo do Potengi a cor aparente só foi maior que o VMP em um resultado. A maior preocupação em relação a este uso é sem dúvida a qualidade microbiológica da água; todas as amostras foram positivas para a presença de coliformes termotolerantes, no entanto, conforme já constatado no campus de Currais Novos, pequenas ações de proteção sanitária podem garantir uma água isenta de microrganismos.

3.6 CONCLUSÕES

Com este trabalho, em que se avaliaram os sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva, concluiu-se que:

Com base no diagnóstico físico e operacional dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva, constatou-se que dos 4 campi avaliados, apenas 1 apresenta estação elevatória para o aproveitamento de água de chuva, demonstrando uma falta de planejamento com relação a destinação dessa água armazenada, que na verdade, poderia ser reutilizada para outros fins, inclusive contribuir para a redução de despesas com o abastecimento público de água.

Quanto à caracterização e o monitoramento da água de chuva armazenada, verificou-se que a água de chuva armazenada nos campi, com exceção do campus de currais novos, apresentaram coliformes termotolerantes durante todo o monitoramento, fazendo-se necessário, pequenas ações de proteção sanitária que possam garantir uma água isenta de microrganismos. Ressalta-se que nenhum dos sistemas conta com dispositivos de descarte das primeiras águas.

Nos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva, constatou-se através do método de Rippl valores de demandas que poderiam ser supridas pela água de chuva, apresentando uma economia para os campi de Canguaretama, Currais Novos e São Paulo do Potengi de 72%, 44% e 26% do consumo de água da rede pública. Para o campus de Ceará-Mirim, 100 m³/mês poderia ser suprido pela água de chuva.

Apesar dos sistemas não estarem protegidos com as barreiras sanitárias necessárias, observou-se que mesmo assim a água de chuva apresentou boa qualidade, e o uso de uma simples cloração, inspeção e limpeza dos pré-filtros a montante dos reservatórios e a substituição dos filtros dos bebedouros foi suficiente para deixar a água própria para consumo humano.

3.7 REFERÊNCIAS

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, v. 243, p. 195-207, 2009.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. New York: American Public Health Association Inc., 2005.

BRASIL. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. São Paulo: [s. n.], 2007.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.1, n.1, p. 73-86, 2013.

ANDRADE NETO, C. O. Segurança sanitária das águas de cisternas rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4, Juazeiro (BA), 2005, **Anais eletrônico...** Disponível em: <www.abcmac.org.br>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ARAÚJO, J. O.; BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B. Água de chuva armazenada em cisterna pode incrementar qualidade nutricional da dieta das famílias. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 7, Fortaleza (CE), 2011. **Anais eletrônico...** Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53878/1/Luiza-2011.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BAGUMA, D. et al. Knowledge of measures to safeguard harvested rainwater quality in rural domestic households. **Journal of Water and Health**, v. 8, n. 2, p. 334-345, 2010.

BEZERRA, S. M. C. et al. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PB. **Ambiente Construído**, v. 10, n.4, p. 219-231, 2010.

BOCANEGRA- MARTÍNEZ, A. et al. Optimal design of Rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44-56, 2014.

BRASIL. Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido da ASA. **Ações**. Recife: ASA Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150>. Acesso em: 3 fev. 2015.

BRASIL. **Portaria nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRITO, L. T. L. et al. Água de chuva armazenada em cisterna produz frutas e hortaliças para consumo pelas famílias rurais: estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8, Campina Grande (PB), 2012. **Anais eletrônico...** Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64455/1/Luiza.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2015.

CONAMA. **Resolução Nº 357**, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providência. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e utilização de água pluvial em residências para população de baixa renda em áreas urbanas: estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9, Salvador (BA), 2008. **Anais eletrônico...** Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art73.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2014.

COSTA, C. V.; AQUINO, M. D. Cisternas de placas: uma tecnologia sustentável para o semiárido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, Bento Gonçalves (RS), 2013. **Anais eletrônico...** Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/54111c294a9b8f7dec92fc027d673a77_a803effca3908aed3e3e5dcf227c0753.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2015.

DACACH, N G. **Saneamento básico**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

ESTADOS UNIDOS. **Rainwater harvesting**: conservation, credit, codes, and cos. Estados Unidos: EPA, 2013.

FASOLA, G. B. et al. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2011.

FENDRICH, R; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais (100 maneiras práticas)**. Curitiba: Livraria do Chain, 2002, 167p. (Tradução do Livro “Rainwater & You: 100 Ways to Use Rainwater. Sumida, Tokyo: GROUP RAINDROPS, 1995).

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v. 248, p. 118-124, 2009.

JONES, M.; HUNT, M. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 623-629, 2010.

KAHINDA, J. M.; TAIGBENU, A. E.; BOROTO, J. R. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 32, p. 1050-1057, 2007.

LEE, M. D.; VISSCHER, J. T. **A colheita de água em cinco países africanos**. Maputo, Moçambique: IRC – Centro Internacional de Água e Saneamento, 2000.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, v. 260, p. 1-8, 2010.

LUBTIZ, M. Disinfection of rainwater catchments: drinking water from the sky. **Water Conditioning & Purification**, p. 1-2, 2009.

LUZ, L. A. R. **A reutilização da água**: mais uma chance para nós. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

MARTINSON, D. B.; TOMAS, T. **Improving water quality by design**. Cidade do México: IRCSA, 2003.

MATIAS, J. A. B. Cisterna de placas pré-moldadas. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE SISTEMAS DA ÁGUA DE CHUVA, 3, Campina Grande (PB), 2001. **Anais eletrônico...** Disponível em:<www.abcmac.org.br>. Acesso em: 13 dez. 2014.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2004.

MELO, L. R. C.; ANDRADE NETO, C. O. Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007. (CD-ROM)

MINIKOWSKI, M.; MAIA, A. G. Sistemas de aproveitamento de água de chuva no município de Irati (PR). **Revista Acadêmica Ciência Agrária e Ambiental**, v.7, n. 2, p. 181-188, 2009.

THOMAS, T. Choosing rainwater tanks for the Sertão. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE SISTEMAS DA ÁGUA DE CHUVA, 3, Campina Grande (PB), 2001. **Anais eletrônico...** Disponível em:<www.abcmac.org.br>. Acesso em: 13 dez. 2014.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2005.

XAVIER, R. P. et al. Avaliação da eficiência de dois tipos de desvio das primeiras águas de chuva na melhoria da qualidade da água de cisternas rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 7., 2009, Caruaru. **Anais...** Caruaru, PE: ABCMAC, 2009. (CD-ROM)