

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE

ANA CLÁUDIA ARAÚJO FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE
DOM NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

NATAL-RN

2018

ANA CLÁUDIA ARAÚJO FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM
NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

Artigo técnico-científico apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jean Leite Tavares

NATAL-RN

2018

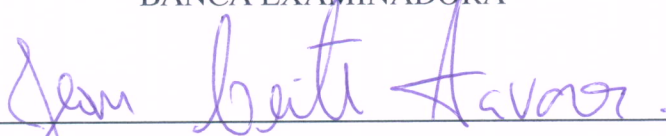
ANA CLÁUDIA ARAÚJO FERNANDES

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM
NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS**

Artigo científico apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental.

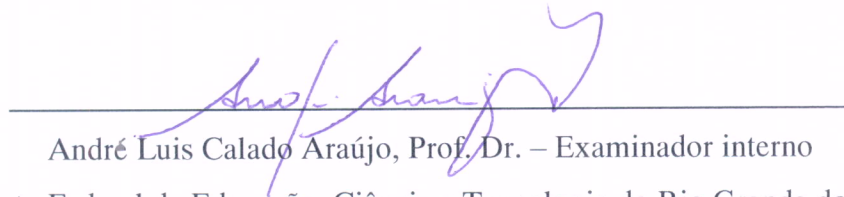
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 03/05/2018, pela seguinte Banca Examinadora:

BANCA EXAMINADORA



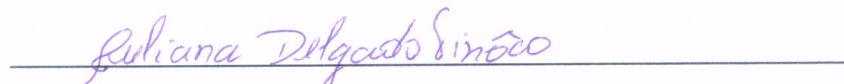
Jean Leite Tavares, Prof. Dr. – Presidente

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



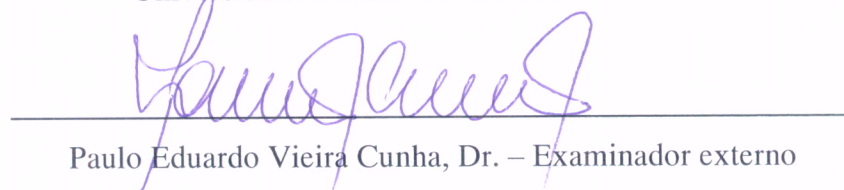
André Luis Calado Araújo, Prof. Dr. – Examinador interno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Juliana Delgado Tinoco, Prof.^a Dra. – Examinadora externa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Paulo Eduardo Vieira Cunha, Dr. – Examinador externo

Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Ana Cláudia Araújo Fernandes¹
Jean Leite Tavares²

RESUMO: O reúso de água residuária para fins não potáveis é uma alternativa ambiental sustentável capaz de preservar água potável. O estudo realizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dom Nivaldo Monte, localizada em Natal-RN, operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) consiste em avaliar o potencial de reúso de efluentes tratados para fins não potáveis. A metodologia é dividida em revisão da literatura; avaliação dos tipos e critérios de reúso; caracterização da área de estudo; levantamento de dados para caracterização do efluente tratado; caracterização das demandas e proposição de alternativas de reúso com base na compatibilização entre a demanda requerida e as características do efluente tratado da ETE. Os resultados apontaram valores satisfatórios para parâmetros como pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos. Todavia, as concentrações de DBO₅ e Coliformes Termotolerantes foram superiores às exigidas pela Environmental Protection Agency (EPA), NBR 13969/1997, Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) e legislações brasileiras estaduais e municipais, sendo recomendado um tratamento biológico adicional e melhoria no processo de desinfecção. A demanda para alguns usos urbanos foi pequena, porém, para condomínios residenciais e recarga de aquíferos, a vazão requerida superou a vazão da ETE. No setor industrial a demanda correspondeu a 14% da vazão efluente e na esfera agrícola verificou-se que é possível irrigar 368 ha de culturas não alimentares. Assim, a ETE possui um significativo potencial de reúso, capaz de suprir demandas nos setores urbano, agrícola e industrial, desde que realizadas as devidas adequações.

Palavras-chave: Efluentes sanitários. Estação de Tratamento de Esgoto. Reúso de água residuária.

1 INTRODUÇÃO

O grande aumento na demanda por água, condicionado pelo crescimento populacional desordenado, a expansão não planejada das cidades e o crescente desenvolvimento industrial conduziram o Brasil para um cenário de crise hídrica. A situação se agrava com a degradação dos corpos d'água resultantes do baixo nível de tratamento de esgotos sanitários e da fragilidade da implantação de políticas de proteção dos mananciais (SANTOS et al., 2006). Uma das alternativas sustentáveis é tratar e reusar os efluentes para complementar o abastecimento urbano (PAES et al., 2010). Nesse sentido, a reutilização de efluentes tratados em atividades menos restritivas é imperativa e pode agir como barreira contra a contaminação dos corpos receptores e como forma de mitigar a poluição hídrica e elevar a disponibilidade de água tratada para fins potáveis (CAIXETA, 2010; PAES et al., 2010).

O reúso de água pode acontecer de forma direta ou indireta, podendo ser planejada ou não (NUVOLARI, 2003). O reúso indireto ocorre quando a água já usada para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. O reúso direto, por sua vez, refere-se ao uso planejado e deliberado de esgotos tratados que atenda aos padrões de

¹ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

² Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

qualidade requeridos pelo novo uso, como irrigação, industrial e recarga artificial de aquífero (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003).

O reúso controlado de água é aplicado em função da qualidade do efluente e da finalidade do uso, da vazão da ETE e do entendimento e esforço conjunto das secretarias municipais e estaduais com as companhias de saneamento (CAIXETA, 2010). Para isso, deve-se considerar fatores primordiais como planejamento e projeto, contempladas as questões de disponibilidade e demanda, assim como estudos de alternativas tecnológicas e de arranjos institucionais para gestão e regulação (ANDRADE NETO, 2011). É indispensável, também, o treinamento específico para o trabalhador acerca dos riscos associados, além da identificação e uso exclusivo do caminhão pipa, quando este for utilizado como transporte para água de reúso. No caso de transporte por adutoras específicas para água de reúso, deve haver projeto e monitoramento para garantir segurança sanitária e vazão suficiente.

Dependendo da cultura e do método de irrigação, a agricultura pode tolerar águas de qualidade menos exigente do que a indústria e o uso doméstico (ANDRADE NETO, 2011). Assim, o efluente tratado se apresenta como uma alternativa excelente para esse uso, uma vez que o sistema solo-microrganismos-plantas pode estabilizar o esgoto e fornecer nutrientes para as plantas que os utilizam no seu processo de crescimento (ANDRADE NETO, 1997). Dessa forma, o reúso de águas para fins agrícolas apresenta-se como uma opção atrativa de agricultura sustentável, tanto pela produção de alimentos como pela produção de renda, capaz de reduzir a migração rural-urbana (informação verbal).³

König et al. (1997) constataram a viabilidade sanitária e nutritiva do reúso de efluentes de uma ETE composta por lagoas de estabilização em série como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras no interior da Paraíba. Entretanto, essa viabilidade só pode ser garantida quando realizados os procedimentos corretos de irrigação e o controle sanitário adequado. Em 2012, estudos conduzidos por pesquisadores do Instituto Federal do Rio Grande do Norte propuseram o reúso de esgoto da ETE do município de Pendências-RN, composta por lagoas de estabilização em série, na irrigação de capim que, posteriormente, foram transformados em briquetes para produção de energia (SARAIVA, 2013).

Em Israel, 70% do efluente tratado é reutilizado no setor agrícola e na Califórnia, EUA, 29% (ESTADOS UNIDOS, 2012); em Valência, na Espanha, 71% (IGLESIAS et al., 2010) e no Catar, no Oriente Médio, 47% (JASIM et al., 2016). Na Austrália são tratados 2 bilhões de $m^3 \cdot ano^{-1}$ de águas residuárias, das quais 14% são destinadas para a agricultura (LYU et al., 2016). A Tunísia possui 6.500 ha irrigados com água de reúso, sendo prevista uma expansão da área irrigada para 20.000 ha nos próximos anos (CAIXETA, 2010). Na Arábia Saudita, pretende-se aumentar o potencial de reúso em 90% até 2040, o que provocaria um aumento no setor agrícola de 1,3 vezes referente aos 540 milhões de $m^3 \cdot ano^{-1}$ em 2012 (JASIM et al., 2016). No Rio Grande do Norte, algumas cidades da região do Seridó, como Caicó, Currais Novos, Parelhas e Florânia utilizam os efluentes das ETE compostas por lagoas de estabilização na irrigação de capim.

Irrigação de parques, áreas verdes e canteiros de ruas, arborização de avenidas e praças, manutenção de lagos artificiais, reserva contra incêndio e lavagem de vias públicas são destinações urbanas do efluente tratado (SANTOS et al., 2006). O reúso urbano também engloba atividades como irrigação de ambientes urbanos, recreação e lazer e recarga de aquíferos (HESPANHOL, 2003; SHARMA; KENNEDY, 2016).

Na Austrália, na Espanha e nos Estados Unidos têm-se aproveitado águas residuárias para irrigação de áreas verdes do setor urbano. Na Flórida, EUA, 55% dos efluentes tratados são reutilizados em fins urbanos, como irrigação de áreas verdes (ESTADOS UNIDOS, 2012). Em algumas cidades do Japão, como Fukuoka, diversos setores operam com rede dupla de

³ Entrevista fornecida por Cleudo Souza, coordenador de planejamento da Secretaria da Agricultura, da Pecuária e da Pesca (SAPE), em Natal, em 13 de março de 2018.

distribuição de água. Uma das redes distribui água tratada para fins potáveis enquanto a outra distribui efluentes domésticos tratados para reutilização em descargas de bacias sanitárias em edifícios residenciais, bem como irrigação de árvores em áreas urbanas, lavagem de gases e alguns usos industriais (HESPANHOL, 2003).

Nos países em desenvolvimento, o reúso urbano ainda não é amplamente praticado devido à falta de infraestrutura adequada da coleta e tratamento de esgotos. Em vez disso, são utilizadas águas superficiais dos corpos hídricos, notadamente poluídas, de forma não planejada (WOLTERSDORF et al., 2017). No entanto, no Brasil, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) produz água de reúso para fins urbanos nas ETE Barueri, Jesus Neto, Parque Novo Mundo e São Miguel para lavagem de ruas, pátios, monumentos, desobstrução de redes de esgotos, rega de jardins, entre outros. (NECESSIDADE, 2016).

A recarga artificial de aquíferos com efluentes domésticos adequadamente tratados é um tipo de reúso urbano consolidado internacionalmente, com destaque para Israel, Estados Unidos, Holanda, Polônia, Japão e Tunísia (JASIM et al., 2016). O método mais empregado para a recarga é o Tratamento Solo-Aquífero (TSA), que consiste na infiltração de efluentes tratados através de bacias de infiltração (SHARMA; KENNEDY, 2016). Essa técnica é capaz de aumentar a disponibilidade hídrica, proteger os aquíferos costeiros contra a salinização e proporcionar a sustentação dos níveis de aquíferos (HESPANHOL, 2003). Isso ocorre devido à capacidade natural do solo de remover poluentes, como compostos orgânicos e inorgânicos e organismos patogênicos. Assim, é indispensável considerar as características geológicas locais, bem como realizar um contínuo monitoramento do sistema (SHARMA; KENNEDY, 2016).

O reúso industrial pode ser destinado para resfriamento, alimentação de caldeiras e processos industriais (ASANO et al., 2007). Essa prática promove a redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água e contribui para a diminuição do impacto ambiental e a melhoria da qualidade das águas de regiões industrializadas e da vida das populações que se beneficiam com o abastecimento a jusante da descarga (CAIXETA, 2010).

Atualmente, no Brasil, uma das principais realizações da SABESP foi o Aquapolo Ambiental, capacitado para tratar o efluente gerado na ETE ABC. O Aquapolo é considerado o maior empreendimento para a produção de água de reúso industrial na América do Sul e 5º maior do mundo. São aproximadamente 1 milhão de $\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ destinados a grandes empresas do Polo Petroquímico de Capuava, no ABC Paulista e utilizados na lavagem de máquinas e galpões, esfriamento de caldeiras e geração de energia (NECESSIDADE, 2016).

Uma das grandes dificuldades para a instituição do reúso refere-se à falta de uma legislação específica a nível federal que regulamente os padrões de acordo com o uso. A EPA estabelece critérios para o reúso de água não potável com base nas diretrizes adotadas nos EUA e recomendadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), pois reconhecidamente elas têm servido de referência e sido adotadas como normas em diversos países (SANTOS et al., 2006).

No Brasil, os critérios são abalizados no PROSAB, que se baseia nos critérios da OMS e na NBR 13969/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece alguns critérios para reutilização de águas residuárias para fins não potáveis. Além disso, há resoluções estaduais e leis municipais que regulamentam essa prática com a restrição de alguns parâmetros, baseadas no PROSAB, na NBR 13969/1997 e na EPA.

No âmbito estadual, destacam-se duas resoluções: a Resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 2017 do Estado de São Paulo e a Resolução COEMA nº 2 de 2017 do Estado do Ceará. A Resolução conjunta disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas e a Resolução COEMA atribui condições e padrões para reúso.

Quanto às leis municipais, pode-se destacar a Lei nº 10.840 de 2015 da cidade de Belo Horizonte-MG, a Lei nº 2.856 de 2011 da cidade de Niterói-RJ e a Lei nº 4593 de 2013, da cidade de Caicó-RN. A Lei nº 10.840 dispõe sobre o reúso de água em edificações públicas e

privadas e a Lei nº 2.856 institui mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reúso de águas servidas em edificações públicas e privadas. No Rio Grande do Norte, em Caicó, a Lei nº 4593 recomenda critérios e padrões de qualidade para água de reúso a ser utilizada nas atividades de produção agrícola, piscicultura e fins urbanos, como irrigação paisagística (canteiros, praças e árvores), lavagem de calçadas, vias públicas pavimentadas e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, combate a incêndio.

No Quadro 1 são apresentados as normas, legislações e critérios de qualidade para diversos parâmetros físico-químicos e biológicos com vista ao reúso de água para fins não potáveis. Os dados indicam a variabilidade dos parâmetros em função da destinação, sendo mais rigorosos para os usos em que há contato direto com o usuário e irrigação de culturas alimentares cruas.

No que se refere às concentrações de Nitrato, os Estados Unidos (2012) estabelece critérios para reúso em irrigação classificados quanto ao grau de restrição. Quando não há restrição, as concentrações de nitrato devem ser inferiores a 5 mg.L^{-1} ; para restrição moderada, as concentrações devem estar inseridas no intervalo de 5 a 30 mg.L^{-1} e para restrição severa, as concentrações podem ser superiores a 30 mg.L^{-1} (ESTADOS UNIDOS, 2012).

A ETE Dom Nivaldo Monte, localizada em Natal-RN, possui um potencial de reúso a ser explorado, pois a vazão efluente é significativa, capaz de suprir diversas demandas locais, e os efluentes tratados a nível terciário devem possuir qualidade compatível com diversos usos quando a ETE está operando corretamente.

Outro fator a ser considerado diz respeito à capacidade de receber cargas de nutrientes do corpo hídrico receptor, o estuário do Rio Potengi. Tavares; Araújo e Fontes (2014) observaram que os níveis de eutrofização do estuário variam de mesotrófico a eutrófico de acordo com o índice trófico (TRIX), com agravante da situação no período chuvoso. Além disso, o estuário irá receber cargas de nutrientes das ETE Guarapes e Jaguaribe, que, atualmente, estão em processo de implantação. Com isso, os níveis de eutrofização tendem a se tornar mais eutróficos, corroborando com a necessidade de fontes alternativas para a destinação dos resíduos líquidos gerados.

Dessa forma, o reúso direto planejado de água apresenta-se como um importante instrumento de gestão ambiental para a cidade do Natal, uma vez que implicará em redução de efluentes lançados no estuário do Rio Potengi e preservação de água potável. No entanto, essa prática somente se tornará atrativa economicamente e com potencial competitivo por meio da implantação de uma gestão integrada entre o sistema de abastecimento de água e o de esgotamento sanitário. Além disso, faz-se necessária a instituição de um arcabouço legal que viabilize a cobrança pelo uso da água e não apenas pela coleta de esgoto.

Nesse contexto, o trabalho objetiva avaliar o potencial de reúso de águas residuárias da ETE Dom Nivaldo Monte para fins não potáveis com vista a propor alternativas sanitária e ambientalmente viáveis.

O presente estudo resultou em um artigo científico submetido para publicação na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, ISSN: 1809-4457, versão on-line, classificada como A2 na área de ciências ambientais (ANEXO A).

2 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa seguiu o modelo analítico-descritivo e suas etapas de desenvolvimento foram adaptadas das propostas por Tinôco (2003) e Caixeta (2010): Revisão da literatura; avaliação dos tipos e critérios de reúso; caracterização da área de estudo; levantamento de dados para caracterização do efluente tratado; caracterização das demandas e proposição de alternativas sustentáveis de reúso.

Legislação	Tipo de reúso não potável	Turbidez (UNT)	pH	Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	Cor (UH)	Cloro Residual (mg.L ⁻¹)	Coliformes Termotolerantes (UFC.100mL ⁻¹)	Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Ovos de helmintos (Ovo.L ⁻¹)	DBO _{5,20} (mg.L ⁻¹)
EPA - EUA (Guidelines for water reuse)	Urbano (sem restrições)	≤ 2	6,0 a 9,0	-	-	1	Não detectado	-	-	-	-	≤ 10
	Urbano (com restrições)	-	6,0 a 9,0	-	-	1	≤ 200	-	≤ 30	-	-	≤ 30
	Industrial	-	6,0 a 9,0	-	-	1	≤ 200	-	≤ 30	-	-	≤ 30
	Agrícola (culturas alimentares)	≤ 2	6,0 a 9,0	-	-	1	Não detectado	-	-	-	-	≤ 10
	Agrícola (culturas não alimentares)	-	6,0 a 9,0	-	-	1	≤ 200	-	≤ 30	-	-	≤ 30
NBR 13969/1997	Urbano com contato direto	< 5	6,0 a 8,0	-	-	0,5 a 1,5	< 200	< 200	-	-	-	-
	Urbano sem contato direto	< 5	-	-	-	> 0,5	< 500	-	-	-	-	-
	Descarga de bacias sanitárias	< 10	-	-	-	-	< 500	-	-	-	-	-
	Agrícola (culturas não alimentares)	-	-	-	-	-	< 5000	-	-	> 2,0	-	-
PROSAB	Urbano (sem restrições)	≤ 2	6,0 a 9,0	-	-	≥ 1	≤ 200	-	-	-	-	≤ 10
	Urbano (com restrições)	-	6,0 a 9,0	-	-	≥ 1	≤ 10000*	-	≤ 30	-	-	≤ 30
	Industrial**	-	6,0 a 9,0	-	-	≥ 1	≤ 200	-	≤ 30	-	-	≤ 30
	Agrícola (culturas cruas)	≤ 2	6,0 a 9,0	-	-	≥ 1	≤ 1000***	-	-	-	≤ 1	-
	Agrícola (demais culturas)	-	6,0 a 9,0	-	-	≥ 1	≤ 10000	-	-	-	≤ 1	-
Resolução conjunta nº 1/2017 - SP	Urbano (restrição moderada)	≤ 2	6,0 a 9,0	< 0,7	-	< 1	Não detectado	< 450	-	-	< 1	≤ 10
	Urbano (restrição severa)	-	6,0 a 9,0	< 3,0	-	< 1	< 200	< 2000	< 30	-	< 1	≤ 30
Resolução COEMA nº 2/2017 - CE	Urbano	-	6,0 a 8,5	≤ 3,0	-	-	< 5000****	-	-	-	≤ 1	-
	Agrícola (culturas cruas)	-	6,0 a 8,5	≤ 3,0	-	-	Não detectado	-	-	-	ND	-
	Agrícola (demais culturas)	-	6,0 a 8,5	≤ 3,0	-	-	≤ 1000	-	-	-	≤ 1	-
Lei nº 2.856/2011 Niterói-RJ	Não faz distinção	< 5	6,0 a 9,0	-	≤ 15	0,5 a 2	Ausente	< 200	-	> 2,0	-	-
Lei nº 4.593/2013 Caicó-RN	Urbano (sem restrições)	-	6,5 a 8,4	0,5 a 3,0	-	-	≤ 200	-	≤ 30	-	≤ 1	≤ 30
	Urbano (com restrições)	-	6,0 a 9,0	0,5 a 3,0	-	-	≤ 200	-	≤ 30	-	≤ 1	≤ 30
	Irrigação (sem restrições)	-	6,5 a 8,4	0,5 a 3,0	-	-	≤ 1000	-	-	-	≤ 1	-
Lei nº 10.840/2015 Belo Horizonte-MG	Não faz distinção	< 5	6,0 a 9,0	-	≤ 15	0,5 a 2	Ausente	< 200	-	> 2,0	-	-
* Para uso predial, como descarga de bacias sanitárias: ≤ 1000 UFC.100mL ⁻¹												
** Usos industriais específicos podem requerer tratamento terciário adicional para a prevenção de corrosão e incrustação, formação de biofilmes e formação de espumas.												
*** No caso de irrigação por gotejamento: ≤ 10000 UFC.100mL ⁻¹												
**** Para irrigação paisagística: ≤ 1000 UFC.100mL ⁻¹												

Quadro 1 – Normas, legislações e critérios de qualidade para reúso de água para fins não potáveis.

Fonte: Autoria própria (2018).

Os critérios de reúso de efluentes tratados para fins não potáveis, sejam eles agrícolas, urbanos ou industriais foram determinados com base nas diretrizes adotadas pela EPA, PROSAB e NBR 13969/1997, bem como por resoluções estaduais e legislações municipais brasileiras. Destacam-se a Resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 2017 do Estado de São Paulo e a Resolução COEMA nº 2 de 2017 do Estado do Ceará, bem como a Lei nº 10.840 de 2015 da cidade de Belo Horizonte-MG, a Lei nº 2.856 de 2011 da cidade de Niterói-RJ e a Lei nº 4593 de 2013, da cidade de Caicó-RN.

Os padrões foram estabelecidos para os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: Turbidez, pH, Condutividade elétrica, Cor, Cloro Residual, Coliformes Termotolerantes, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST), Oxigênio Dissolvido (OD), Ovos de helmintos e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅). Vale salientar que os parâmetros de referência utilizados para o reúso não potável não são iguais para todas as normas e legislações, motivo pelo qual foi necessário realizar um levantamento de diversas leis, de forma que fosse obtida uma maior abrangência de parâmetros.

A área de estudo é delimitada pela cidade do Natal e pelos municípios de Macaíba, Caiçara do Rio do Vento, Jardim de Angicos, Bento Fernandes e João Câmara, situados a um raio de aproximadamente 100 km da capital potiguar. A delimitação da área se deu em função da localização da ETE Dom Nivaldo Monte e das demandas de reúso não potável para fins agrícolas, industriais e urbanos, uma vez que, para alguns casos, a cidade do Natal não apresentou demanda suficiente para utilizar toda a vazão efluente da ETE.

A ETE Dom Nivaldo Monte, mais conhecida como ETE do Baldo, é situada no bairro Alecrim, zona leste da cidade do Natal e possui capacidade para tratar 1620 m³.h⁻¹ de esgotos domésticos oriundos de 21 bairros do município. A ETE é dividida em dois módulos, cada um com capacidade para tratar 810 m³.h⁻¹ de esgoto (FERRAZ, 2014), constituída por tratamento preliminar, duas linhas de tratamento secundário operando paralelamente e desinfecção dos resíduos líquidos, além de também dispor de tratamento para as fases sólida e gasosa.

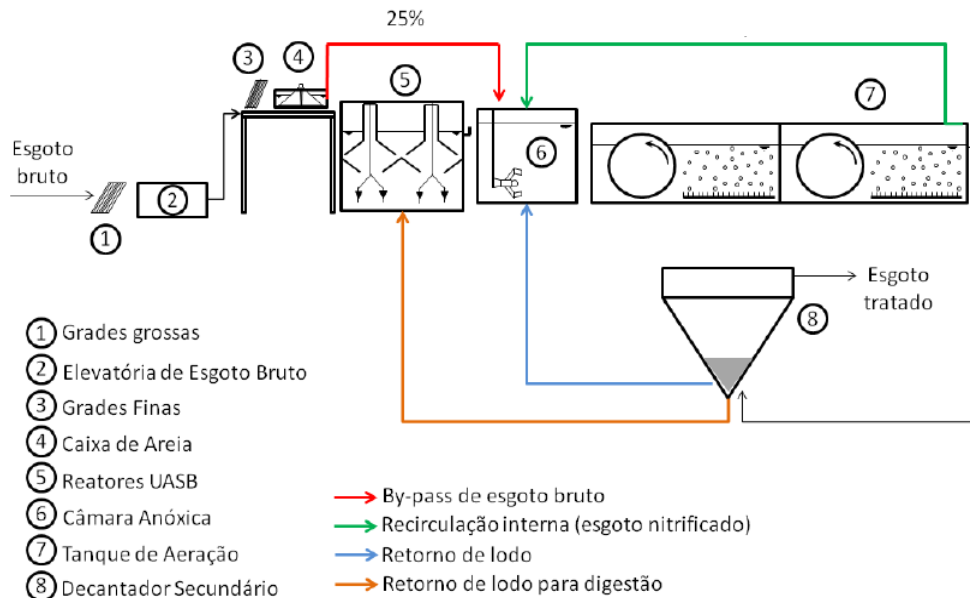
O tratamento preliminar consiste em gradeamento grosseiro mecanizado, gradeamento fino e desarenação, através de caixas de areia de fluxo horizontal e limpeza mecanizada. O tratamento secundário é constituído por processos físico-químicos e biológicos que ocorrem nas unidades de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), câmaras anóxicas, tanques de aeração e decantadores secundários. Após passar pelo tratamento preliminar, 75% do esgoto segue para os reatores UASB com fluxo ascendente, enquanto 25% é destinado para as câmaras anóxicas com a função de complementar a necessidade de carbono durante o processo de desnitrificação.

O efluente dos reatores UASB são reunidos e destinados para as câmaras anóxicas que, por sua vez, também recebem as vazões de recirculação dos tanques de aeração e a recirculação do lodo dos decantadores secundários. Parte do efluente dos tanques de aeração (TAs) segue para os decantadores secundários com raspador mecânico de lodo e espuma, enquanto a outra parcela é recirculada até as câmaras anóxicas através de bombeamento.

O lodo removido no fundo dos decantadores secundários retorna para os reatores UASB para o processo de digestão ao passo que o efluente líquido segue para a desinfecção, constituída por um sistema de emissão de raios ultravioletas, composto por 90 lâmpadas. O processo de tratamento é ilustrado no Fluxograma 1.

O levantamento de dados qualitativos e quantitativos para a caracterização do efluente tratado foi realizado junto à CAERN, companhia responsável pela operação e monitoramento da ETE do Baldo. A caracterização qualitativa quanto aos parâmetros de Condutividade Elétrica, DBO₅, Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Oxigênio Dissolvido, pH e Sólidos Suspensos foi realizada com base em dados secundários obtidos a partir das análises físico-químicas e biológicas realizadas pela Unidade do Laboratório Central de Monitoramento de Efluentes (ULCE) da CAERN no período de 2013 a 2017.

No que se refere às concentrações de Nitrato, foram analisadas com base em amostras coletadas na saída dos decantadores no período de janeiro e fevereiro de 2018. Quanto à vazão efluente, a medição foi realizada no medidor ultrassônico da ETE no período de julho de 2016 a novembro de 2017 e os dados foram disponibilizados pela CAERN.



Fluxograma 1 – Processo de tratamento da ETE do Baldo.

Fonte: Adaptado de Ferraz (2014).

Na etapa seguinte avaliou-se as demandas de água na cidade do Natal e em municípios vizinhos de forma a determinar o seu consumidor em potencial. As demandas para água de reúso são distribuídas em uso agrícola, industrial e urbano, sendo o último uso dividido em irrigação de canteiros, lavagem de feiras livres, desobstrução da rede de esgoto, uso predial e recarga artificial de aquíferos.

Para o reúso agrícola, observou-se que a demanda em Natal é pequena, pois a cidade é predominantemente urbana, e, portanto, possui uma área agrícola incipiente. Sendo assim, a demanda agrícola passou a ser contabilizada nos municípios de Caiçara do Rio do Vento, João Câmara, Jardim de Angicos e Bento Fernandes, os quais necessitariam ser abastecidos por adutoras específicas de água de reúso.

A escolha dessas cidades se deu em função da pouca disponibilidade hídrica, sobretudo no período de seca, e dos elevados requisitos de área com baixa valorização imobiliária, o que não ocorre na região metropolitana de Natal. Nesse caso, considerou-se uma taxa de irrigação de 9 mm.dia^{-1} (TINÔCO, 2003), equivalente a aproximadamente $1 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, com funcionamento do sistema de 24 horas por dia.

Quanto ao reúso industrial, foi realizado um levantamento para quantificar a demanda de água das indústrias localizadas nas cidades de Natal e Macaíba com consumo igual ou superior a $1000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$. Uma vez que essas indústrias são abastecidas por poços e não é realizada a medição de água, a demanda foi estimada a partir do volume de esgoto coletado pela CAERN no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018, sabendo que a coleta de esgoto representa 80% do abastecimento de água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986). Dessa forma, a partir dos dados de vazão de esgoto coletados e disponibilizados pela CAERN, foi realizada a média mensal e, então, efetuada a divisão por um fator de 0,8. Esse valor calculado representa a quantidade de água requerida para as indústrias.

No que tange o setor urbano, foi analisada a área de irrigação de áreas verdes para a cidade do Natal com base no trabalho desenvolvido por Tinôco (2003), considerando as zonas

sul, leste e oeste, com a mesma taxa de irrigação proposta por Tinôco (2003), correspondente a 9 mm.dia^{-1} e funcionamento do sistema de 24 horas por dia.

Para quantificar as demandas de limpeza de feiras livres em Natal, foi realizado um levantamento junto à Companhia de Serviços Urbanos de Natal (URBANA) no qual foi informada a quantidade de água utilizada atualmente na lavagem de feiras livres do município. Foi estimada, também, a quantidade de água necessária para desobstrução de rede de esgotos na cidade com base em informações fornecidas pela CAERN.

Para usos não potáveis em edificações públicas e privadas, estas distribuídas em residenciais e comerciais, foi realizado um levantamento dos volumes de esgoto coletados mensalmente pela CAERN no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018 nas cidades de Natal e Macaíba.

As edificações analisadas são representadas por órgãos públicos, condomínios, shoppings e empresas que possuem água oriunda de poços e, portanto, não é realizada a medição de água. Sendo assim, semelhante ao método utilizado para quantificar a demanda industrial, foi calculada a média mensal de esgotos coletados e, então, aplicado o fator de 0,8 para determinar a demanda de água para essas edificações. É válido salientar as edificações analisadas possuem vazão de coleta de esgoto igual ou superior a $1000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$.

Para a recarga do aquífero, foram quantificados os poços perfurados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) nas cidades de Natal, Extremoz, Parnamirim e São Gonçalo do Amarante, bem como suas respectivas vazões. Entretanto, observou-se por meio de um relatório da Agência Nacional de Águas (ANA) que os poços operados pela CAERN em Natal apresentam vazão elevada, o que levou a desconsiderar a demanda de recarga de aquíferos para as demais cidades. Dessa forma, foi contabilizada a vazão de captação dos poços operados pela CAERN em Natal e a vazão de recarga do aquífero por infiltração de esgotos com base no relatório da ANA e analisadas as áreas mais propícias para a infiltração no solo-aquífero no município.

Com base na compatibilização entre os critérios e padrões de uso, a caracterização do efluente tratado e as demandas analisadas, foi possível averiguar as possíveis alternativas para a destinação do efluente tratado da ETE do Baldo. Assim, foram realizadas proposições para os usos urbanos, industriais e agrícolas, destacando o potencial de cada um deles.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compatibilização dos critérios e padrões de reúso com a caracterização qualitativa do efluente tratado, bem como das demandas com a vazão disponível na ETE do Baldo conduziram para a proposição de alternativas para o reúso não potável de água residuária oriunda da ETE.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO

A vazão da ETE do Baldo apresentou uma média de $1325 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, com desvio padrão de $286,76 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. A caracterização da qualidade do efluente tratado apresenta-se na Tabela 1, com a indicação do número de amostras para cada parâmetro, bem como os valores de mínimo, máximo, média e mediana.

A média de $0,67 \text{ dS.m}^{-1}$ para condutividade elétrica é coerente com o intervalo de 0,5 a 3,0 estabelecido pela Resolução COEMA nº 2/2017-CE e a Lei nº 4.593/2013-Caicó-RN para fins agrícolas e urbanos, bem como pela Resolução Conjunta nº 1/2017-SP para uso urbano com restrição severa. De acordo com os dados analisados, foi observado que em 100% das amostras o valor não ultrapassou $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$. Todavia, a Resolução Conjunta nº 1/2017-SP exige valores inferiores a $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ para usos urbanos com restrição moderada, constatado em 27 amostras, o que corresponde a uma probabilidade de ocorrência de 63%.

A concentração média de DBO₅ igual a 45,56 mg.L⁻¹ foi superior ao valor exigido pela EPA, Resolução Conjunta nº 1/2017-SP e Lei nº 4.593/2013-Caicó-RN, que estipula valores inferiores a 30 mg.L⁻¹ para usos urbanos com restrição severa, industriais e agrícolas com culturas não alimentares. Para usos urbanos sem restrição ou com restrição moderada e agrícolas com culturas alimentares, a recomendação é de valores inferiores a 10 mg.L⁻¹. Foi observado que apenas 2 amostras obtiveram valor inferior a 10 mg.L⁻¹, o que corresponde a 5% e em 15 amostras os valores obtidos foram inferiores a 30 mg.L⁻¹, correspondente a uma probabilidade de ocorrência de 35%, ainda incipiente. Isso sugere uma adequação do processo biológico para obtenção de concentrações mais baixas de DBO₅.

Tabela 1 – Caracterização qualitativa do efluente tratado da ETE do Baldo.

Parâmetro	Unidade	Nº de amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Condutividade elétrica	dS.m ⁻¹	43	0,28	0,97	0,67	0,65
DBO ₅	mg.L ⁻¹	43	7,40	93,10	45,56	46,10
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	51	0,40	9,00	3,60	3,40
Nitrogênio Amoniacal	mg.L ⁻¹	33	0,34	10,30	3,94	3,36
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	43	3,20	8,80	5,51	5,20
pH	-	51	6,38	7,83	7,00	7,00
Sólidos Suspensos Totais	mg.L ⁻¹	43	0,00	38,00	12,79	12,00
Temperatura	°C	51	25,00	31,00	29,27	29,00
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	51	1,30E+02	1,60E+05	8,25E+04	9,20E+04
Nitrato	mg.L ⁻¹	13	0,13	4,47	1,61	1,26

Fonte: CAERN (2018a).

As concentrações de Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal, embora não possam ser comparadas com as legislações estudadas, uma vez que não há restrição para esses parâmetros, indicam a presença de nutrientes. Isso sugere um aspecto positivo quanto ao reúso agrícola, corroborando com Andrade Neto (1997).

O valor da concentração média de oxigênio dissolvido correspondente a 5,51 mg.L⁻¹ é positivo, uma vez que em 100% das amostras é superior à exigência mínima de 2 mg.L⁻¹ da NBR 13969/1997 para culturas agrícolas não alimentares, da Lei nº 2.856/2011-Niterói-RJ e da Lei nº 10.840/2015-Belo Horizonte-MG, que não fazem distinção quanto ao tipo de reúso. O pH também apresentou resultados positivos, com média igual a 7,00, respeitando os limites estabelecidos por todas as normas e legislações estudadas, já que em 100% das amostras os valores foram superiores a 6,0 e inferiores a 8,0.

Para os sólidos suspensos, a média de 12,79 mg.L⁻¹ está em conformidade com o valor máximo de 30 mg.L⁻¹ estabelecido pela EPA para usos urbanos com restrição, industriais e culturas não alimentares, pela Resolução Conjunta nº 1/2017-SP para fins urbanos com restrição severa e pela Lei nº 4.593/2013-Caicó-RN para usos urbanos diversos. Foi observado que em 93% das amostras o valor foi inferior a 30 mg.L⁻¹, o que indica uma probabilidade de ocorrência satisfatória. Quanto à temperatura não há restrição, pois os valores obtidos são próximos à temperatura ambiente, com média de 29,27 °C.

As concentrações de Coliformes Termotolerantes, por sua vez, foram consideravelmente elevadas. Em 2% das amostras os valores obtidos foram iguais ou inferiores a 200 UFC.100mL⁻¹, em conformidade com a Resolução Conjunta nº 1/2017-SP para fins urbanos com restrição severa, a Lei nº 4.593/2013-Caicó-RN para usos urbanos e a EPA para fins urbanos com restrição e culturas agrícolas não alimentares. Em 4% das amostras foram obtidos valores inferiores a 500 UFC.100mL⁻¹, em concordância com o exigido pela NBR 13969/1997 para fins urbanos sem contato direto e descarga de bacias sanitárias.

6% das amostras de Coliformes Termotolerantes indicaram valores iguais ou inferiores a 1.000 UFC.100mL⁻¹, o que está de acordo com a Resolução COEMA nº 2/2017-CE para culturas agrícolas que não são consumidas cruas, a Lei nº 4.593/2013-Caicó-RN para fins agrícolas e o PROSAB para fins urbanos sem restrição. Para concentrações iguais ou inferiores a 5.000 UFC.100mL⁻¹ foi observada a conformidade em 12% das amostras segundo a NBR 13969/1997 para culturas agrícolas não alimentares e a Resolução COEMA nº 2/2017-CE para usos urbanos, exceto irrigação paisagística.

Em 14% das amostras foram observados valores inferiores a 10.000 UFC.100mL⁻¹, coerente com a recomendação do PROSAB para usos urbanos com restrição, exceto uso predial, como descarga de bacias sanitárias, que a indicação é de 1.000 UFC.100mL⁻¹. Em todos os casos, porém, as concentrações obtidas indicam probabilidade incipiente quanto à conformidade com os padrões de reúso consultados, o que sugere uma adequação do processo de desinfecção da ETE.

Quanto às concentrações de Nitrato os resultados mostram uma média de 1,61 mg.L⁻¹ e valores inferiores a 5 mg.L⁻¹ em 100% das amostras, o que indica a possibilidade de reúso agrícola quanto a esse parâmetro, em consonância com o estabelecido pela EPA. Para os demais usos, as normas e legislações específicas não estabelecem critérios referentes ao Nitrato.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS DEMANDAS

A área de irrigação de canteiros públicos contabilizada por Tinôco (2003) para as regiões sul, leste e oeste da cidade do Natal foi igual a 40,8 ha. A vazão efluente da ETE possibilita uma área de irrigação de 368 ha, considerando a taxa de irrigação de 9 mm.dia⁻¹, o que tornaria necessário um acréscimo de 89% na demanda para irrigação de canteiros, uma percentagem muito significativa.

Quanto à quantidade de água para limpeza de feiras livres, Natal necessita semanalmente de 110 m³, distribuídos em 15 m³ para as feiras de Lagoa azul, Carrasco e Nossa Senhora da Apresentação; 30 m³ para Pitimbu e Panatis; 15 m³ para Pajuçara e Potengi; 20 m³ para Alecrim e Lagoa Nova; 15 m³ para Lagoa Seca, Quintas e Ponta Negra e 15 m³ para Lagoa Azul, Felipe Camarão, Rocas e Igapó (COMPANHIA DE SERVIÇOS URBANOS DE NATAL, 2018). Para desobstrução da rede de esgoto, estima-se uma demanda diária de 20 m³ (CAERN, 2017), o que representa um valor ínfimo diante da vazão efluente da ETE.

Os poços perfurados pela SEMARH na cidade do Natal dispõem de uma vazão de aproximadamente 41.284.251 m³.ano⁻¹ (NATAL, 2018). Segundo relatório da ANA (2012), os poços operados pela CAERN captam 65.296.675 m³.ano⁻¹ e o aquífero recebe uma recarga por infiltração de esgotos correspondente a 42.296.985 m³.ano⁻¹. No entanto, com a rede coletora de esgotos que está sendo implantada em toda a cidade, a recarga indireta do aquífero, que, atualmente ocorre por meio de infiltração de efluentes oriundos do sistema individualizado (tanques sépticos e sumidouros), será afetada.

A vazão efluente da ETE do Baldo correspondente a 11.448.000 m³.ano⁻¹ possibilita uma recarga do aquífero de 27% referente à vazão de recarga por sistemas individualizados contabilizada pela Agência Nacional de Águas (2012). Nesse sentido, o reúso de águas residuárias provenientes da ETE do Baldo pode contribuir de forma positiva para o aumento da disponibilidade hídrica na cidade do Natal. Vale salientar ainda que as características qualitativas do efluente da ETE são consideravelmente melhores do que as do efluente de sumidouros, uma vez que no sistema individualizado o tratamento é primário.

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Norte (FIERN) (2018), são contabilizadas 22 indústrias de grande porte e 176 de médio porte no Rio Grande do Norte. Natal possui 82 indústrias de médio porte, das quais 65% correspondem ao ramo da construção civil e 9 indústrias de grande porte, sendo 33% ligadas à área de saneamento

ambiental, como a CAERN e a URBANA, e 22% do ramo têxtil. Em Macaíba foram contabilizadas 7 indústrias de médio porte, divididas entre os ramos de alimentação (57%), transporte (29%) e têxtil (14%) e 3 indústrias de grande porte, distribuídas entre os setores alimentar (67%) e têxtil (33%).

No Quadro 2 apresenta-se as vazões de esgoto coletadas pela CAERN nas edificações públicas e privadas de grandes consumidores dos municípios de Natal e Macaíba. São apresentadas as médias de esgoto coletadas no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018, divididas por categorias em comercial, industrial, pública e residencial e em seguida, estimada a vazão de água requerida.

Município	Categoria	Esgoto coletado (m ³ /mês)	Água requerida (m ³ /mês)
Natal	Comercial	210.151	262.689
	Industrial	86.013	107.516
	Público	97.522	121.903
	Residencial	1.097.797	1.372.247
Macaíba	Comercial	213	267
	Industrial	19.444	24.306
	Público	517	646
	Residencial	6.465	8.081

Quadro 2 – Vazões de esgoto coletadas pela CAERN em Natal e Macaíba.

Fonte: CAERN (2018b).

No que tange o setor comercial, a demanda na cidade do Natal representa 28% da vazão efluente atual da ETE do Baldo, que corresponde a 954.000 m³.mês⁻¹. Em Macaíba, no entanto, essa demanda é principiante, correspondente a 213 m³.mês⁻¹. Quanto ao setor industrial, a demanda de água é igual a 107.516 m³.mês⁻¹ para a cidade do Natal e 24.306 m³.mês⁻¹ para o município de Macaíba que, juntas, podem ser abastecidas com apenas 14% da vazão da ETE. No âmbito público, a representação da demanda frente à oferta é de 13% para Natal e ínfima para Macaíba, correspondente a apenas 0,07 %.

Os edifícios residenciais na cidade do Natal representam uma demanda significativa para a vazão efluente da ETE do Baldo, uma vez que supera a oferta de água em 44%. Sendo assim, a vazão disponível na ETE é capaz de abastecer 70% dos condomínios no município. Para Macaíba a demanda é baixa, correspondente a apenas 0,85%.

É necessário advertir que a destinação do esgoto tratado será exclusivamente para fins não potáveis, o que eleva o percentual de abastecimento. Dessa forma, para a categoria residencial na cidade do Natal o suprimento da demanda poderia ser bastante satisfatório. Isso ocorre porque a medição do esgoto realizada refere-se ao total produzido, considerando o consumo de água potável e não potável.

Quanto ao setor agrícola, para a mesma taxa de irrigação de 9mm.dia⁻¹, a vazão efluente da ETE do Baldo possibilita a irrigação de 368 ha de culturas não alimentares, como forragem e capim. Em cidades situadas a um raio aproximado de 100 km de Natal, como Caiçara do Rio do Vento, João Câmara, Jardim de Angicos e Bento Fernandes, com pouca disponibilidade hídrica, especialmente no período de seca, e elevados requisitos de área com baixa valorização imobiliária, o reúso de esgoto pode ser uma solução atrativa.

Na Tabela 2 apresenta-se as demandas de água para diversos tipos de consumidores, bem como a localização da demanda, a vazão requerida pela ETE do Baldo e o percentual de atendimento da demanda com a vazão disponível na ETE.

Tabela 2 – Distribuição das demandas de acordo com o tipo de reúso não potável.

Tipo de uso	Vazão de demanda (m ³ .mês ⁻¹)	Vazão da ETE (m ³ .mês ⁻¹)	Localização da demanda	Vazão requerida (%)	Atendimento (%)
Irrigação de canteiros	105.750	954.000	Natal	11,1%	100%
Lavagem de feiras livres	440	954.000	Natal	0,05%	100%
Desobstrução da rede de esgotos	400	954.000	Natal	0,04%	100%
Recarga de aquíferos*	3.524.749	954.000	Natal	369%	27%
Edificações comerciais	262.689	954.000	Natal	28%	100%
Edificações residenciais**	1.372.246	954.000	Natal	144%	70%
Edificações públicas	121.903	954.000	Natal	13%	100%
Edificações comerciais	266	954.000	Macaíba	0,03%	100%
Edificações residenciais	8.081	954.000	Macaíba	0,85%	100%
Edificações públicas	646	954.000	Macaíba	0,07%	100%
Agrícola	953.856	954.000	Caiçara do Rio do Vento, Bento Fernandes, João Câmara e Jardim de Angicos	100%	100%
Industrial	107.516	954.000	Natal	11%	100%
	24.305	954.000	Macaíba	3%	100%

* A vazão disponível na ETE necessitaria de um acréscimo de 269% para suprir totalmente a demanda.

** A vazão disponível na ETE necessitaria de um acréscimo de 44% para suprir totalmente a demanda.

Fonte: Aatoria própria (2018).

3.3 PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS DE REÚSO

De acordo com o comparativo realizado entre a caracterização qualitativa do efluente tratado da ETE e as normas e legislações consultadas, o efluente pode ser utilizado para usos agrícolas, urbanos e industriais, desde que realizado um novo monitoramento das concentrações de Coliformes Termotolerantes e DBO₅, parâmetros que apresentaram desconformidade. Embora a inadequação da DBO₅ em 67% das amostras não se apresente como um fator limitante, haja visto que o PROSAB não restringe valores para esse parâmetro quanto aos usos agrícolas e urbanos, deve ser realizada uma adequação da qualidade do efluente.

Dessa forma, propõe-se um tratamento adicional com acréscimo de filtros após os reatores UASB para adequação do tratamento biológico e adição de cloro junto às emissões ultravioletas para aperfeiçoar o processo de desinfecção. Em todo caso, devem ser realizados estudos aprofundados quanto à adequação da qualidade do efluente para que sejam obtidas concentrações coerentes de Coliformes Termotolerantes e DBO₅ para viabilizar o reúso do esgoto tratado da ETE do Baldo.

No que tange a recarga de aquíferos, não possível convergir para um diagnóstico qualitativo, pois as normas e legislações não apresentam limites de concentração para esse reúso. Nesse caso, a recomendação dos Estados Unidos (2012) é referente ao processo de tratamento, que deve ser no mínimo primário para bacias de infiltração e secundário para injeção no aquífero. Sendo assim, o tratamento da ETE do Baldo está coerente com o recomendado pela EPA. Outro fator relevante a se considerar no método TSA refere-se ao decaimento bacteriológico, uma vez que os Coliformes Termotolerantes não sobrevivem por um longo período de tempo, pois o solo possui capacidade para remover organismos patogênicos.

Quanto aos aspectos quantitativos, os usos urbanos como desobstrução da rede de esgoto e limpeza de feiras livres totalizam uma ínfima demanda, que representa menos de 1% da vazão disponível na ETE, o que não permite a indicação dessa escolha como prioridade. A irrigação paisagística corresponde a 11% da demanda, porém, sugere-se que esse tipo de reúso seja realizado de forma pontual, com a logística de transporte por meio de caminhões pipa exclusivos para água de reúso, semelhante ao que é atualmente realizado pela SABESP.

De acordo com os estudos realizados, os grandes consumidores, caracterizados pelos condomínios residenciais, representam uma elevada demanda de água para a cidade do Natal. Todavia, um reúso público dessa natureza não é uma alternativa viável para o município, uma

vez que a adoção dessa prática acarreta em redes duplas de distribuição de água, sendo uma para água potável e outra para água de reúso. Além disso, serão necessárias mudanças nas instalações prediais, pois deve-se ter tubulações independentes para água potável e não potável de forma que não haja ligações cruzadas.

A recarga de aquíferos é considerada a maior demanda em potencial para o município. Para a implementação dessa prática, os principais aspectos a serem considerados referem-se à delimitação da área de recarga e à questão econômica. O aquífero de Natal é livre e a água subterrânea possui um nível dinâmico alto, sendo ainda mais elevado no Cordão de Dunas, no qual se encontra a região compreendida por San Vale, Parque das Colinas, Lagoinha, Capim Macio, Morro do Careca e Cidade Nova. Todavia, essa é uma área de preservação permanente, e, portanto, o licenciamento ambiental para recarga é dificultado. Outra opção é a injeção na borda do aquífero, como é realizado em Israel, para criar uma barreira hidráulica capaz de conter a cunha salina, aumentando, assim, a disponibilidade hídrica (informação verbal).⁴

A prática do reúso agrícola em cidades do interior do Estado, como Caiçara do Rio do Vento, Jardim de Angicos, Bento Fernandes e João Câmara apresenta-se como uma alternativa atraente, pois nesses municípios há ocorrência de prolongados períodos de estiagem e elevadas taxas de evaporação. Além disso, na região metropolitana de Natal não se tem interesse pelo reúso agrícola, uma vez que há oferta hídrica satisfatória e não há grande disponibilidade de terras em virtude da elevada taxa de ocupação. Outro fator relevante diz respeito ao baixo valor econômico das terras no interior do Estado (informação verbal).⁵

Para esse tipo de sistema, sugere-se que o transporte seja por adução em único ponto com derivação por glebas. Para viabilizar esse uso, deve haver uma parceria entre a CAERN, o município e o proprietário da terra para equilibrar o custo do sistema que envolve, dentre outras coisas, adução, bombeamento e reservação (informação verbal).⁶ Nesse caso, como forma de reduzir custos, recomenda-se uma adequação no tratamento do esgoto destinado exclusivamente para esse tipo de reúso. Uma proposição é a inexistência da etapa de remoção de nutrientes, já que eles são importantes para o crescimento das plantas.

No setor industrial, a prática do reúso possui uma barreira significativa quanto à gestão de águas no Estado do RN, uma vez que o Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN) não realiza cobrança pelo uso da água de poços e não atribui responsabilidade financeira sobre a poluição gerada nos corpos hídricos pelo lançamento de esgotos. Sendo assim, esses aspectos são favoráveis para a falta de interesse pela prática do reúso nas indústrias, visto que elas possuem água gratuita oriunda de poços e não pagam pelo lançamento de esgotos lançados no estuário do Rio Potengi.

Uma proposição para tornar a prática do reúso atrativa economicamente para as indústrias é a criação de uma gestão integrada de recursos hídricos que cobre pelo uso da água de poços e atribua custo decorrente do impacto causado pelo lançamento de efluentes nos corpos receptores. Com a outorga e o valor cobrado pela água de reúso inferior ao da água potável, haverá interesse financeiro, uma vez que isso implicará em redução de custos a longo prazo, tornando a prática competitiva. No entanto, vale salientar que no Rio Grande do Norte a maioria das indústrias lança os efluentes tratados na rede de esgotos da CAERN. Sendo assim, o custo decorrente do impacto causado pelas indústrias deverá ser cobrado pela IGARN em função do volume de esgotos coletados pela CAERN.

A ETE do Baldo possui um expressivo potencial de reúso, visto que possui uma vazão elevada, capaz de suprir demandas nos setores urbano para a cidade do Natal, agrícola para cidades do interior do Estado e industrial para os municípios de Natal e Macaíba. Todavia, é imprescindível que a aplicação dessa prática seja precedida por um novo monitoramento dos

⁴ Entrevista fornecida por J. A. Guimarães Júnior, em Natal, em 20 de fevereiro de 2018.

⁵ Id., 2018, f.3.

⁶ Id., 2018, f.3.

parâmetros de DBO₅ e Coliformes Termotolerantes para adequação do tratamento. No mapa ilustrado na Figura 1 apresenta-se os tipos de reúso distribuídos no Estado do RN de acordo com as proposições discutidas.

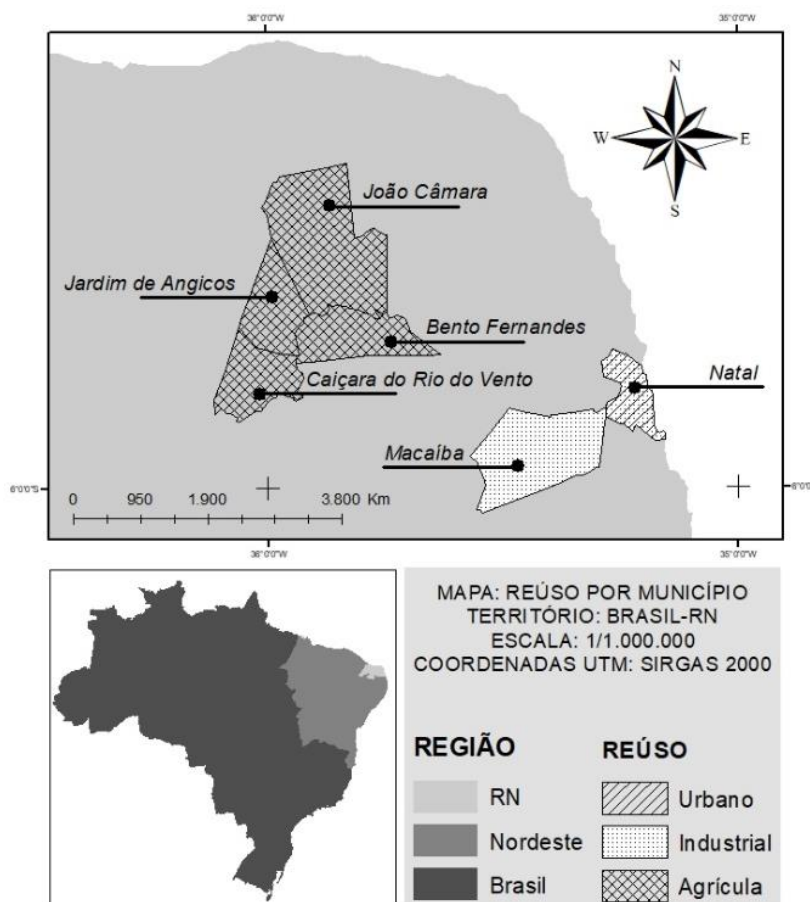


Figura 1 – Distribuição de reúso para fins não potáveis no RN.
Fonte: Autoria própria (2018).

4 CONCLUSÕES

A caracterização qualitativa do efluente tratado na ETE do Baldo indicou valores satisfatórios para parâmetros como pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos. Todavia, as concentrações de DBO₅ e Coliformes Termotolerantes foram superiores às exigidas nas normas e legislações consultadas. Nesse sentido, a qualidade do efluente possibilita o reúso não potável para fins urbanos, agrícolas e industriais, desde que seja realizado um novo monitoramento quanto aos parâmetros de DBO₅ e Coliformes Termotolerantes para investigar a necessidade da adequação do tratamento.

Para o nitrato, observou-se a adequação para o reúso agrícola conforme os Estados Unidos (2012), uma vez que as demais normas e legislações estudadas não apontam critérios para outros tipos de reúso. Quanto à adequação do efluente para recarga artificial de aquíferos, não possível convergir para um diagnóstico qualitativo, pois as normas e legislações consultadas não apresentam limites de concentração para esse tipo de reúso. Todavia, observou-se que o nível de tratamento da ETE do Baldo é superior ao nível mínimo exigido pelos Estados Unidos (2012).

Com vista a aprimorar a qualidade do efluente, tornando-a propícia para os diversos usos estudados, propõe-se um tratamento adicional com acréscimo de filtros após os reatores UASB e adição de cloro junto às emissões ultravioletas. Em todo caso, devem ser realizados

estudos específicos para se obter a qualidade recomendada pelas normas e legislações e, assim, viabilizar o reúso do esgoto tratado da ETE do Baldo.

No que tange os aspectos quantitativos, para desobstrução da rede de esgotos e limpeza de feiras livres em Natal, foi contabilizada uma demanda inferior a 1% da vazão da ETE. Para irrigação paisagística, verificou-se uma demanda de 11% para as zonas sul, leste e oeste da cidade do Natal. Para esse tipo de reúso, recomenda-se a realização de forma pontual, com a prefeitura responsável pelo transporte, já que a vazão requerida é pequena e muito distribuída.

Para reúso em condomínios residenciais na cidade do Natal, a vazão da ETE do Baldo foi superada em 44%. Considerando que todo o efluente tratado da ETE fosse destinado para esse uso, seria possível abastecer 70% dessa demanda. A recarga de aquíferos com águas residuárias possibilita suprir, em média, 27% da recarga atual, contribuindo para o aumento da disponibilidade hídrica, já que os sumidouros serão desativados após a implantação da rede coletora de esgotos que está sendo realizada em toda a cidade do Natal.

No setor industrial, para os municípios de Natal e Macaíba, a demanda corresponde a 14% da vazão efluente, o que não indica um valor muito representativo. Para essa situação, propõe-se o fornecimento do esgoto tratado pela CAERN e o transporte sendo de responsabilidade das indústrias. No ramo agrícola, constatou-se a possibilidade de irrigar 368 ha de culturas não alimentares em cidades como Caiçara do Rio do Vento, Jardim de Angicos, Bento Fernandes e João Câmara, situadas a um raio aproximado de 100 km de Natal.

Portanto, a ETE do Baldo possui um significativo potencial de reúso, uma vez que possui uma vazão expressiva, capaz de suprir demandas nos setores urbano para a cidade do Natal, agrícola para cidades do interior do Estado e industrial para os municípios de Natal e Macaíba. No entanto, é imperativo que a aplicação do reúso de água para fins não potáveis seja precedida por um novo monitoramento dos parâmetros de DBO₅ e Coliformes Termotolerantes de forma que o tratamento seja adequado aos usos propostos.

Para a prática do reúso, sugere-se a criação de uma proposta de lei para o Estado do Rio Grande do Norte devido à ausência de legislação específica para a regulamentação do reúso de água e à divergência dos padrões de qualidade das legislações referentes ao tema.

Recomenda-se, também, a realização de um estudo da hidrogeologia local, contemplando aspectos como o tipo do solo e o nível da água subterrânea a fim de se obter informações consistentes para a elaboração de um projeto de reúso fundamentado e com probabilidade de ser bem sucedido com vista à recarga artificial de aquíferos na cidade do Natal. Para isso, é necessária uma modelagem hidrogeológica quanto à influência da recarga do aquífero no nível do lençol freático.

É imprescindível, ainda, a realização de uma avaliação econômica, considerando custos de implantação e operação com o objetivo de analisar o retorno do investimento e, conseqüentemente, a viabilidade econômico-financeira da prática do reúso não potável.

EVALUATION OF THE POTENTIAL OF WASTEWATER REUSE OF THE STS DOM NIVALDO MONTE FOR NON-POTABLE PURPOSES

ABSTRACT: The wastewater reuse for non-potable purposes is an environmentally sustainable alternative able to preserve potable water in order to supply the demand for its potability. The study carried out at the Sewage Treatment Station (STS) Dom Nivaldo Monte, located in Natal, management by Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) consists in evaluating the reuse potential of treated effluents for non-potable purposes. The methodology is divided in literature review; evaluation of reuse types and criteria; characterization of the area of study; data search for characterization of treated sewage; characterization of demands and proposition of reuse alternatives based on the compatibility between the required demand and the characteristics of the STS treated effluent. The results

indicated satisfactory values for parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and suspended solids. However, the concentrations of BOD₅ and Fecal Coliforms were higher than those required in the Environmental Protection Agency (EPA), NBR 13969/1997, Basic Sanitation Research Program (PROSAB) and Brazilian state and municipal legislations, and an additional biological treatment and improvement in the disinfection process was recommended. The demand for some urban uses was small, however, for residential buildings and aquifers recharging, the flow was higher than the one at the STS. In the industrial sector, the demand is 14% of the STS's effluent flow and in the agricultural branch, it was verified that it would be possible to irrigate 368 ha of non-food crops. Therefore, the STS has a significant potential for reuse, capable of meeting demands in the urban, agricultural and industrial sectors, provided that adequate adjustments are made.

Keywords: Sanitary sewage. Sewage Treatment Station. Wastewater Reuse.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986, 10 p.

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, 60 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da região metropolitana de Natal (RMN)**. Brasília: ANA, v. 2, 2012.

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira**. 1. ed. São Paulo: ABES, 1997, 302 p.

ANDRADE NETO, C. O. O que vamos fazer com os esgotos tratados? **Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção**, [S.l.], v. 9, 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/9/o-que-vamos-fazer-com-os-esgotos-tratados-especialista-241105-1.aspx>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. 1. ed. New York: Metcalf & Eddy, Inc. an AECOM Company, 2007, 1461 p.

BELO HORIZONTE. Lei nº 10.840, de 28 de agosto de 2015. Dispõe sobre reúso de água em edificações públicas e privadas. **Câmara Municipal de Belo Horizonte**, Belo Horizonte, 28 ago. 2015

BREGA FILHO, D., MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S, SANTOS, H. F (Editores) **Reúso de água**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2003, cap. 2. p. 21-36.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Demanda requerida para desobstrução de rede de esgoto**. Natal: CAERN, 2017.

_____. **Dados de vazão e qualidade dos efluentes tratados na Estação de Tratamento de Efluentes Dom Nivaldo Monte (ETE do Baldo)**. Natal: CAERN, 2018a.

_____. **Volumes de esgoto coletados pela CAERN para imóveis com grandes consumidores**. Natal: CAERN, 2018b.

CAICÓ. Lei nº 4.593, de 19 de junho de 2013. Recomenda critérios e padrões de qualidade para água de reúso a ser utilizada nas seguintes atividades: produção agrícola, fins urbanos, piscicultura e dá outras providências. **Prefeitura Municipal de Caicó**, Caicó, 26 ago. 2013.

CAIXETA, C. E. T. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no Estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão**. 2010. 324 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CEARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias SEMACE nº154, de 22 de julho de 2002 e nº111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria SEMACE nº151, de 25 de novembro de 2002. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, v. 9, n. 37, p. 56-61, 21 fev. 2017. Seção 3.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. EPA/600-R-12-618. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2012, 643 p.

FERRAZ, D. L. de M. **Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Guia industrial**. Natal, 20 fev. 2018. Disponível em: <<http://guiaindustrial.fiern.org.br/index.php>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S, SANTOS, H. F, (Editores) **Reúso de água**. 1. ed. São Paulo: Manole, 2003, cap. 3, p. 37-95.

IGLESIAS, R. et al. Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatments trains. **Desalination**, [S.l.], v. 263, 2010, p. 1-10.

JASIM, S. Y. et al. Reuse of treated sewage effluent (TSE) in Qatar. **Journal of water process engineering**, [S.l.], v. 11, 2016, p. 174-182.

KÖNIG, A. et al. Uso de esgoto tratado como fonte de água não convencional para irrigação de forrageiras. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos Técnicos**, [S.l.], v. 33, 1997, p. 2072-2081.

LYU, S. et al. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. **Journal of Environmental Sciences**, [S.l.], v. 39, 2016, p. 86-96.

NATAL (ESTADO). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Dados de poços perfurados pela SEMARH em Natal e região**. Natal: SEMARH, 2018.

NECESSIDADE de inovações para a perenidade do saneamento. **Revista Saneas**. São Paulo, v. 58, n. 9, abr./jul. 2016, p. 6-11.

NITERÓI. Lei nº 2.856, de 25 de julho de 2011. Estende as obrigações da Lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. **Câmara Municipal de Niterói**, Niterói, 26 jul. 2011.

NUVOLARI, A. (coordenação). **Esgoto sanitário: coleta transporte tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 520 p.

PAES, R. P. de et al. Aplicação de tecnologias de conservação do uso da água através do reúso - Estudo de Caso Cuiaba, MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 15, n. 3, jul./set. 2010, p. 97-107.

SANTOS, M. L. F. dos; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coordenadores). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

SÃO PAULO (ESTADO). Resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 28 jun. 2017, p. 41-42. Seção 1.

SARAIVA, V. M.; KÖNIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **Revista Holos**, Natal, v. 1, n. 29, p. 28-46, jan./fev. 2013.

SHARMA, S. K.; KENNEDY, M. D. Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [S.l.], v. 119, out. 2016, p. 671-677.

TAVARES, J. L.; ARAÚJO, A. L. C.; FONTES, R. F.C. Estudos iniciais para uso do índice TRIX para análise do nível de eutrofização no estuário do rio Potengi – Natal – RN – Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, México, v. 7, n. 3, p. 297-308, dez. 2014.

TINÔCO, J. D. **Caracterização do efluente da estação de tratamento de esgoto ponta negra, visando sua reutilização em irrigação de canteiros públicos na cidade de Natal – RN**. 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

COMPANHIA DE SERVIÇOS URBANOS DE NATAL. **Demanda requerida para limpeza de feiras livres**. Natal: URBANA, 2018

WOLTERS DORF, L. et al. Benefits of an integrated water and nutrient reuse system for urban areas in semi-arid developing countries. **Resources Conservation and Recycling**, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.019>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO NA REVISTA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

[ESA] Agradecimento pela Submissão



Equipe Editorial <noreply.ojs@scielo.org>

Hoje, 21:19
Você ✉

Prezado(a) Ana Cláudia Araújo Fernandes,

Acusamos o recebimento da submissão do seu manuscrito "AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS" para Engenharia Sanitária e Ambiental.

O sistema de avaliação é double blind review , onde não revela o nome do autor para o avaliador nem o nome do avaliador para o autor, adotado pelo Conselho Editorial para garantir a avaliação independente realizada por consultores ad hoc.

Os números anteriores da revista podem ser acessados pelo site:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-4152&lng=pt&nrm=iso

Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://submission.scielo.br/index.php/esa/author/submission/195903>

Login: anaclaudia_af

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este e-mail. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Equipe Editorial
Engenharia Sanitária e Ambiental

Equipe Editorial
Engenharia Sanitária e Ambiental