

II-556 - REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS ATRAVÉS DE RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFERO EM NATAL-RN

Teônia Casado da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestranda do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Técnica de Engenharia em Controle Ambiental na Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

Jean Leite Tavares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB-CG). Mestre em Engenharia Sanitária/Recursos Hídricos pela UFPB-CG. Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor Efetivo do IFRN.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Senador Salgado Filho, 1555 - Tirol - Natal - RN- CEP: 59015-000 - Brasil - Tel: (84) 991739477 - e-mail: teonia.casado@gmail.com

RESUMO

Diante de situações de conflitos pelo uso da água, principalmente em regiões que possuem histórico de estresse hídrico, associado ao crescimento dos consumos doméstico e industrial, faz-se necessário adotar medidas de gestão sustentável para garantir o suprimento atual e futuro das demandas por água potável. Em Natal-RN, diante da necessidade de atender as demandas, acredita-se que a recarga artificial de aquífero é uma alternativa interessante para o reúso de águas residuárias tratadas, podendo contribuir positivamente com a disponibilidade hídrica da cidade, contenção da intrusão salina e manutenção dos níveis do aquífero. Sendo necessário a estudo da viabilidade ambiental dessa prática, assim como, conhecer as características do aquífero local e sua capacidade de receber os efluentes tratados através de bacias de infiltração.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso, Recarga Artificial de Aquífero, Águas Residuárias Tratadas, Gestão de Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

Em muitos países, o reúso em áreas urbanas tem ganhado interesse, visto que suas reservas de água doce estão se aproximando de limite de suprimento, em função de uma crescente demanda, tornando o reúso potável (direto ou indireto) uma alternativa viável para prolongar a vida útil das fontes de abastecimento (METCALF; EDDY, 2016). Países como Estados Unidos, Austrália, Espanha e Alemanha utilizam largamente o reúso de água para complementar a disponibilidade hídrica, obedecendo aos critérios de regulação estabelecidos (ALCALDE-SANZ; GAWLIK, 2017).

A recarga artificial de aquíferos está se tornando uma opção atraente para o armazenamento de água nos processos de reutilização de água, pois também pode oferecer uma barreira de tratamento adicional, através do solo, para melhorar a qualidade da água recarregada e atenuar as variações sazonais da oferta e demanda de água (LEVANTESI *et al.*, 2010).

Em Natal, capital do Rio Grande do Norte, o crescimento populacional tem provocado o aumento da demanda por água, exaurindo os corpos d'água responsáveis pelo abastecimento da cidade, principalmente do aquífero Dunas/Barreiras que é responsável por abastecer cerca de 30% do sistema norte da cidade e 70% do sistema sul, assim considerados em relação às margens do rio Potengi (CAERN, 2018).

A recarga do aquífero Dunas/Barreiras em Natal é composta pela infiltração das águas da chuva, perdas das tubulações de abastecimento de água e infiltração de esgoto oriundo de fossas e sumidouros, também denominada recarga urbana. Apenas 39,8% da cidade possui rede coletora de esgoto em operação, logo, são adotadas soluções individuais de esgotamento, como fossas sépticas ou rudimentares e sumidouros, que aliado ao solo arenoso e permeável, facilita a infiltração do esgoto no subsolo (ANA, 2012; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018). Com a ampliação do sistema de esgotamento sanitário (SES) para toda a cidade, cujas obras estão em andamento, espera-se uma melhoria na qualidade da água subterrânea, que apresenta elevados

níveis de nitrato, contudo haverá uma redução significativa no volume de recarga urbana, o que pode afetar o volume de água disponível para captação, ocasionar a depleção local das cargas hidráulicas, causar subsidência do solo e favorecer a intrusão salina (ANA, 2012).

A recarga urbana em Natal é da ordem de $111,5 \times 10^6$ m³/ano, do qual cerca de $43,4 \times 10^6$ m³/ano é proveniente de fossas e sumidouros existentes nas áreas sem esgotamento sanitário, o que representa 38,8% da recarga urbana do aquífero (ANA, 2012).

A adoção do reúso através da recarga artificial de aquífero mostra-se uma alternativa interessante, visto que possibilita diminuir o descarte de efluentes em rios e lagos, atenuar a intrusão salina, prevenir a subsidência do solo, além de aumentar a disponibilidade de água para captação e potabilidade (VANDENBOHEDE *et al.*, 2013). Diante do exposto, a recarga de aquífero apresenta-se como uma demanda em potencial para o reúso dos esgotos tratados em Natal-RN, podendo contribuir positivamente com a disponibilidade hídrica da cidade, sendo necessário estudar a viabilidade da recarga artificial do aquífero em Natal-RN com ART, garantindo a manutenção quanti e qualitativa de água disponível para captação.

Para esse estudo, considerou-se a vazão proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) Jundiáí Guarapes, projetada para tratar até 1050 L/s, através de reatores UASB associados a lodos ativados, com desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e pós-tratamento para remoção de nutrientes. Nesse sentido, importa-se saber em que medida o efluente tratado na ETE Jundiáí Guarapes pode ser reutilizado para recarga artificial de aquífero em Natal-RN, considerando-se a viabilidade ambiental e a disponibilidade de áreas para infiltração dos efluentes tratados.

OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade ambiental do reúso de águas residuárias da ETE Jundiáí Guarapes para recarga artificial de aquífero em Natal-RN, mapear áreas de alta transmissividade no aquífero Dunas/Barreira em Natal-RN e identificar áreas disponíveis para infiltração das águas residuárias tratadas (ART).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os autores Telles e Costa (2010) enquadram o reúso através da recarga artificial de aquífero dentro da modalidade de reúso urbano para fins potáveis, a qual exige que o esgoto utilizado seja de origem essencialmente doméstico, haja visto que efluentes industriais podem conter contaminantes de difícil remoção, onerando os custos do tratamento, além de gerar grande risco à saúde dos consumidores.

O reúso urbano para fins potáveis é subdividido em:

- a) reúso potável direto: o efluente tratado é direcionado para uma estação de tratamento de água e, em seguida, para a rede de distribuição.
- b) reúso potável indireto: quando o efluente é lançado num corpo hídrico – superficial ou subterrâneo, para diluição e redução das cargas poluidoras, posterior captação, potabilização e distribuição.

A prática do reúso potável direto não é indicada, devido aos riscos sanitários associados e à baixa aceitação pública, já o reúso potável indireto é amplamente utilizado, a exemplo dos Estados Unidos e Israel que praticam a recarga de aquíferos com esgoto tratado para o fornecimento de água potável (TELLES; COSTA, 2010; HESPANHOL, 2002).

Recarga artificial de aquífero

Os aquíferos são naturalmente alimentados através de zonas ou áreas de recarga em variados níveis, ou diretamente através de precipitações. Porém, para aumentar a disponibilidade hídrica, a engenharia de recursos hídricos desenvolveu a recarga artificial de aquíferos (HESPANHOL, 2002).

A recarga artificial de aquífero pode dar-se pela infiltração de águas de mananciais que receberam contribuição de esgoto, ou pela infiltração direta de efluentes tratados, podendo ser feita pelo processo de infiltração-percolação ou injeção direta (TELLES; COSTA, 2010).

A recarga de aquífero é utilizada para aumentar a disponibilidade hídrica de aquíferos, estabilizar ou elevar os níveis de aquíferos regulando variações sazonais, compensar a superexploração, controlar a intrusão salina, diluir aquíferos salinos ou poluídos e controlar ou evitar a subsidência do solo (BRASIL, 2013; HESPANHOL, 2002).

Existe uma diversidade de métodos de recarga artificial de aquífero, basicamente classificados como superficial ou profundo. Os métodos de recarga em superfície consistem na infiltração de água através uma ampla superfície de contato entre água e solo, geralmente utilizados em aquíferos freáticos e que possuem alta permeabilidade. Os métodos de recarga em profundidade compreendem a utilização de furos ou poços para realizar a introdução de água no aquífero, mais utilizados em aquíferos profundos e confinados (DIAMANTINO, 2005).

Tratamento Solo Aquífero (TSA)

O principal processo de infiltração é o Tratamento Solo Aquífero (TSA), amplamente utilizado por promover uma barreira adicional para contaminantes presentes na água de infiltração (SHARMA; KENNEDY, 2017). O TSA é um processo de tratamento avançado, natural e sustentável, regido pela biodegradação, inicialmente aeróbica e depois anóxica, ocorrendo tanto na zona vadosa, como na zona saturada (AMY; DREWES, 2007).

O TSA é um tratamento que além de promover a remoção de patógenos, nitrogênio, matéria orgânica e diversos micropoluentes orgânicos, também contribui para a melhor aceitação do reúso potável, já que ainda existe uma rejeição pelos usuários quanto ao uso de águas residuárias para fins potáveis (SHARMA; KENNEDY, 2017). Aliado a isso, o TSA é atrativo por ser um sistema sustentável e que minimiza os custos de operação, devido ao baixo consumo de energia.

Injeção direta

A recarga de aquífero por meio de injeção direta é feita através de poços que se estendem através da camada insaturada até o aquífero. A água é bombeada diretamente nos poços, garantindo altas taxas de recarga. Envolve custos elevados para construção do poço, operação com bombeamento e quanto aos níveis de tratamento necessários antes da injeção no aquífero, devido à necessidade de proteção da qualidade de água (HESPANHOL, 2002).

A utilização da injeção direta é indicada quando a zona não saturada apresenta camadas impermeáveis, os aquíferos são confinados ou há pouca disponibilidade de área para infiltração (BARBOSA; MATTOS, 2008).

METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, a pesquisa será desenvolvida nas seguintes etapas:

- Caracterização da área de estudo;
- Definição da técnica de recarga a ser adotada;
- Definição dos critérios ambientais, técnicos e econômicos para escolha de área adequada à implantação de lagoas de infiltração;
- Mapeamento e análise locacional para identificação de áreas disponíveis para implantação de lagoas de infiltração de ART.

Além das etapas acima listadas, na continuidade do presente trabalho, será realizado o dimensionamento dos componentes do sistema de recarga e o respectivo estudo de viabilidade econômica para a implantação de lagoas de infiltração, conforme representado na última etapa em caixa de contorno tracejado na Figura 1. Será dimensionado um sistema de transporte e infiltração para realização do tratamento solo-aquífero, com estimativa de custos, em seguida será feito o comparativo com o cenário projetado e orçado pelo agente executor da ETE Jundiá Guarapes para emissário de destinação final num corpo hídrico superficial.

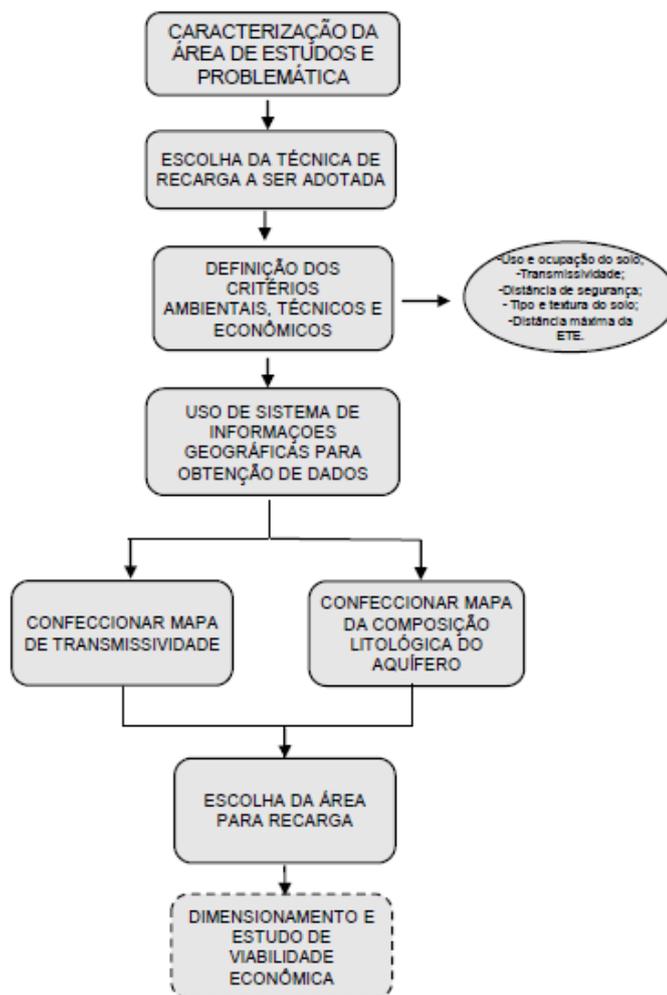


Figura 1: Fluxograma da metodologia de pesquisa adotada no presente trabalho.

Área de estudo

O presente estudo aplica-se ao sistema sul de Natal-RN, mais especificamente na área de ampliação do SES, que será atendida pela ETE Jundiáí Guarapes, projetada para tratar 1050 L/s de esgoto oriundo de bairros das zonas Sul e Oeste de Natal, atendendo a população dessas áreas num horizonte de 20 anos. A tecnologia de tratamento projetada será por meio de reatores UASB associados a lodos ativados, desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e pós-tratamento para remoção de nutrientes.

Natal é uma cidade litorânea, localizada entre as coordenadas 5°47'42" de latitude sul e 35°12'34" de longitude oeste, limitando-se ao norte com o município de Extremoz, ao sul com Parnamirim, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com os municípios de São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Parnamirim (IDEMA, 2013). Apresenta área territorial de 167,2 km², população de 803.739 habitantes em 2010 e densidade demográfica de 4.805,24 hab/km² (IBGE, 2010).

A cidade do Natal passa por um processo de crescimento urbano, apresentando uma taxa de crescimento de 40,7% entre 1991 e 2013 (ANUÁRIO NATAL, 2014). Consequentemente, a demanda por serviços como abastecimento de água e esgotamento sanitário aumentam proporcionalmente, porém a infraestrutura disponível para coleta e tratamento de esgoto não atende satisfatoriamente a população da capital do Estado, apresentando um índice de coleta de apenas 39,8%, dos quais, cerca 72,8% passa por tratamento adequando antes da disposição no meio ambiente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018). Com o objetivo de ampliar a cobertura com coleta e tratamento adequado em toda a cidade foram projetados dois sistemas de esgotamento sanitário, um na zona Norte, e outro na zona Sul, cujas obras estão em andamento.



O município encontra-se com 31,19% do seu território inserido na Bacia Hidrográfica do rio Potengi, 23,43% na Bacia Hidrográfica do rio Doce, 15,30% na Bacia Hidrográfica do Rio Pirangi e 30,08% na Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso (IDEMA, 2013).

O Sistema Aquífero Barreiras ocorre em toda extensão do município de Natal, compreendendo uma superfície de 168 km², espessuras variando de 51 a 99 m, com média de 74 m. Na zona sul de Natal, a parte superior dos perfis de poços é dominada por sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos e a parte inferior são arenitos finos a grosseiros (ANA, 2012).

O mapa da composição hidrogeológica do aquífero em Natal (Figura 2) revela a presença de duas unidades hidráulicas, Dunas e Barreiras, de grande conexão hidráulica formando o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, em geral, do tipo livre, com as dunas promovendo a função de transferir as águas de infiltração aos estratos inferiores do Barreiras (MELO, 1995).

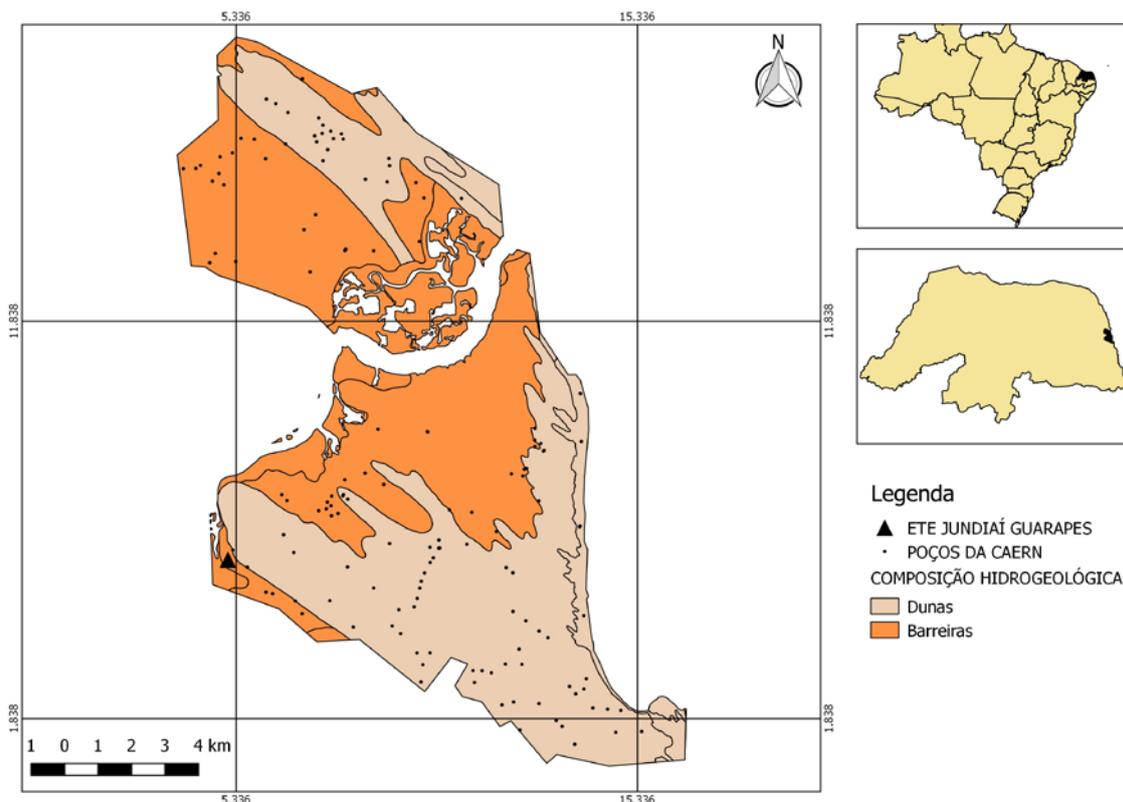


Figura 2: Mapa da composição hidrogeológica de Natal-RN.

Definição da técnica de recarga

Entre os métodos de recarga artificial de aquífero disponíveis, o método de superfície através de lagoas de infiltração é o que mais se adequa às características do aquífero Dunas/Barreiras, por ser um aquífero livre em quase sua totalidade, possuir perfil litológico na zona sul de Natal-RN representado por depósitos eólicos litorâneos de paleodunas, composto por areias de granulometria de fina a média, e apresentar altas taxa de transmissividade (ANA, 2012).

Crítérios para escolha de área para recarga artificial de aquífero

Para a análise locacional serão adotados critérios técnicos, ambientais e econômicos que orientarão a escolha de área com condições adequadas para a implantação de lagoa de infiltração de ART. A partir dos critérios definidos, será utilizada ferramenta de geoprocessamento para mapear áreas com maior adequabilidade para a instalação de lagoas de infiltração.

Os critérios de restrições utilizados nesta pesquisa foram adaptados de Silva (2017). São eles:

- Critérios ambientais: para evitar contaminação por infiltração de ART, deve ser considerada uma distância de segurança de 100 m relativamente a captações de água para consumo humano; deve ser considerada uma distância de 200 m relativamente a aglomerados populacionais, para proteger estas áreas de possíveis contaminações;
- Critério técnico: uso ou ocupação do solo, para avaliar o potencial uso do solo; textura do solo: as zonas não saturadas não devem conter camadas de argila e outros solos que possam restringir o movimento descendente da água. Para evitar o entupimento dos solos e para assegurar o tratamento da água residual, o solo deve ter uma fração baixa de argila (<10% de argila); tipo de solo: o solo para infiltração de água residual tratada não deve ter rocha no topo, uma vez que grande parte da melhoria da qualidade da água reutilizada ocorre no primeiro metro de solo; profundidade do aquífero: o aquífero deverá ser suficientemente profundo e transmissivo para prevenir aumentos excessivos de água no solo devido à infiltração.
- Critério econômico: de modo a diminuir os custos de transporte de ART desde a ETE até a área de recarga, deve existir uma distância máxima de 8 Km.

Mapeamento e análise locacional para identificação de áreas disponíveis para implantação de lagoas de infiltração de ART

Para atender os critérios anteriormente estabelecidos foi necessário o uso de ferramentas de geoprocessamento. Para elaboração de mapa temático foi utilizado o programa Quantum GIS – QGIS 2.18.24, com *shapefiles* oriundos do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e ferramentas de mapas *online* - *OpenStreetMap*. Foram utilizados *shapefiles* da composição hidrogeológica do aquífero Dunas/Barreiras, zonas de concentração de nitrato, zonas de transmissividade, cadastro de poços e nascentes na Região Metropolitana de Natal (RMN), localização da ETE.

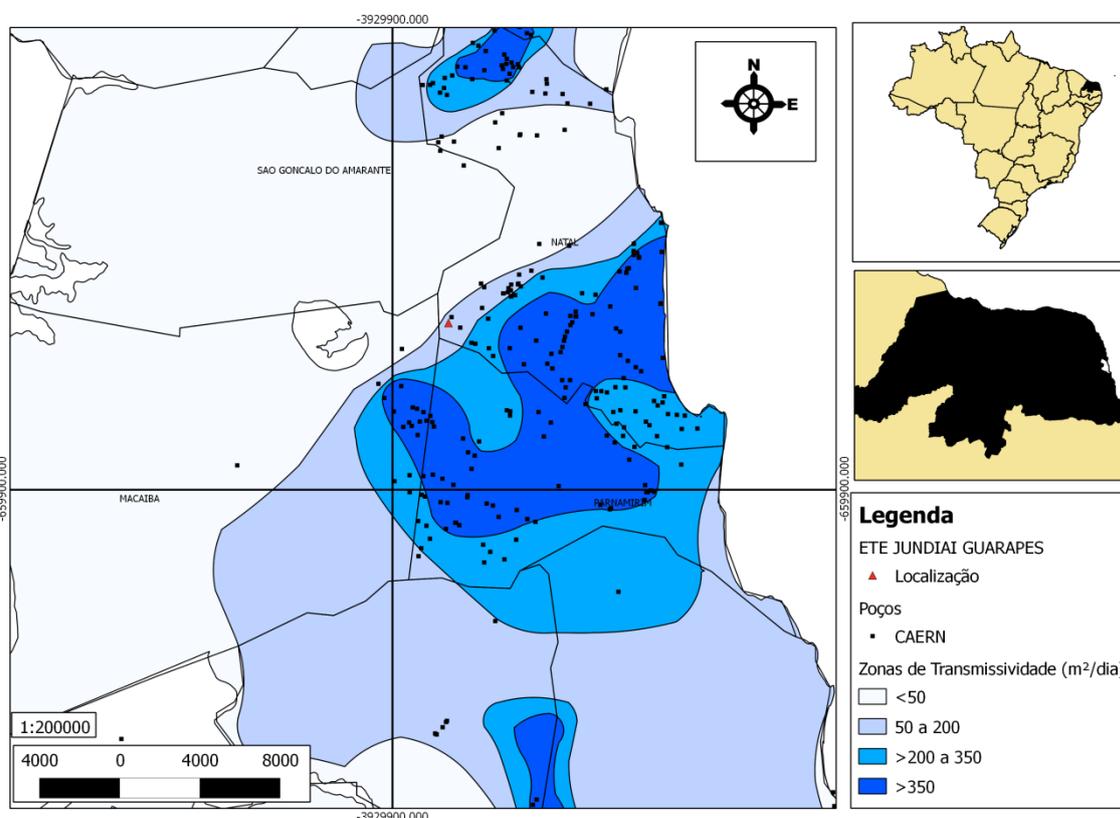


Figura 3: Mapa das zonas de transmissividade do aquífero Dunas/Barreiras na Região Metropolitana de Natal.



O mapa das zonas de transmissividade foi elaborado com o objetivo de identificar as áreas com elevadas taxas de transmissividade no aquífero, o que auxilia a escolha da área com capacidade de transmitir todo o volume de água, evitando o seu acúmulo no solo. Conforme Figura 03 a localização de ETE Jundiá Guarapes é próxima à divisa com as cidades de Macaíba e Parnamirim, o que torna possível a utilização de áreas nesses municípios para instalação de lagoas de infiltração.

A partir do mapeamento das áreas próximas à ETE é possível identificar quais atendem aos critérios anteriormente estabelecidos, respeitando as características do solo, a proximidade de fontes de captação de água para abastecimento público e a distância economicamente viável para implantação de adutora de reúso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a viabilidade ambiental do reúso de águas residuárias da ETE Jundiá Guarapes para recarga artificial de aquífero em Natal-RN, considera-se o que estabelece a Resolução nº 153/2013 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que trata da recarga artificial de aquíferos no território brasileiro, mais especificamente o art. 8º “a recarga artificial não poderá causar alteração da qualidade das águas subterrâneas que provoque restrição aos usos preponderantes” (BRASIL, 2013). Dessa forma, almeja-se que a recarga artificial com água de reúso não altere a qualidade da água do aquífero Dunas/Barreiras, principalmente por esse ser uma importante fonte de água para o abastecimento da capital potiguar.

A legislação brasileira não estabelece parâmetros qualitativos e seus respectivos valores máximos permissíveis para a implementação da recarga artificial de aquífero, o que dificulta a determinação objetiva de técnicas ambientalmente viáveis. No caso da cidade em estudo, como já há o reúso não planejado, devido à infiltração de volume significativo de esgoto no solo e, conseqüentemente, há alteração da qualidade da água subterrânea, principalmente no que se refere às concentrações de nitrato, acredita-se que a adoção do reúso potável indireto planejado, através da recarga artificial de aquífero com esgoto tratado, promoverá um resultado positivo na qualidade ambiental do aquífero.

Nas últimas décadas, vários trabalhos se dedicaram a estudar a presença de nitrato nas águas subterrâneas em Natal-RN, os resultados mostram que houve um crescimento significativo de presença do nitrato em concentrações superiores ao estabelecido na Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). A Agência Nacional de Águas fez uma compilação dos dados de alguns desses estudos e montou um banco de dados com informações georreferenciadas sobre as águas subterrâneas da RMN. A partir desse banco de dados foi possível montar um mapa (Figura 3) que retrata o avanço de zonas de concentração de nitrato em toda cidade, no período entre 2006 e 2011 (ANA, 2012).

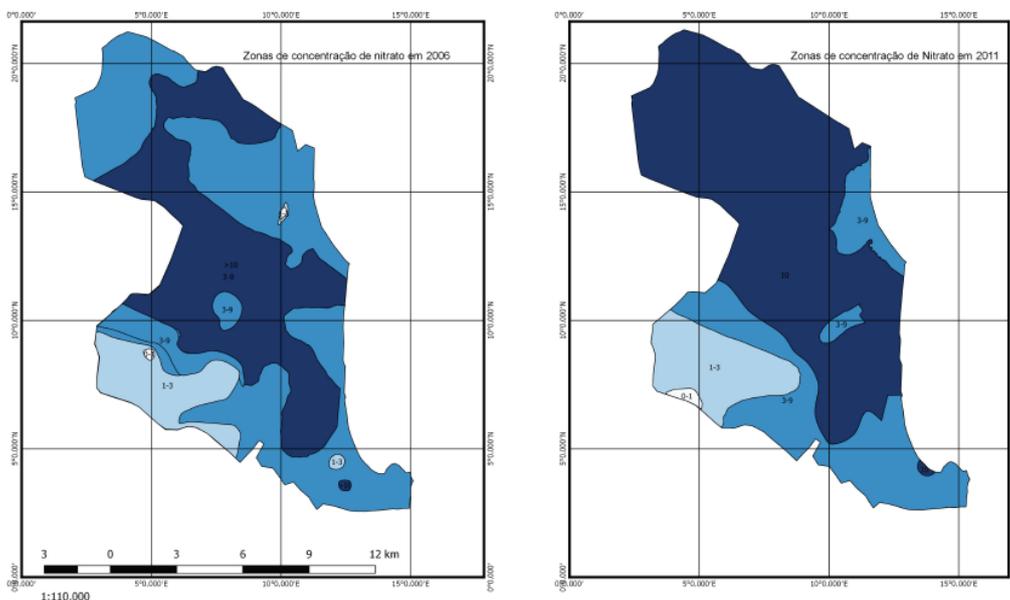


Figura 4: Zonas de concentração de nitrato nas águas subterrâneas de Natal entre 2006 e 2011.

A ETE Jundiáí Guarapes foi projetada para tratar o efluente a nível terciário, com pós-tratamento físico-químico para remoção de nutrientes, o que irá reduzir o aporte de carga poluidora, haja vista que a parcela da recarga urbana representada pela infiltração dos efluentes de fossas e sumidouros será eliminada, e substituída pela infiltração de ART através da técnica TSA que promove remoção de nutrientes, matéria orgânica e micropoluentes.

Através da infiltração em superfície grande parte da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e metais pesados são removidos ou convertidos no primeiro metro de solo, que funciona como um sistema de filtração, porém ainda existe uma preocupação quanto aos nitratos e à carga bacteriológica (FLORA, 2011). Para a infiltração em solos arenosos permeáveis, que possuam nível freático superior a 5 m, aplicando-se de taxas de infiltração entre 0,2 e 1 m/dia a concentração final de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal, nitritos, nitratos, SST, metais pesados e carga bacteriológica será reduzida significativamente (ASANO *et al.*, 2007). Essas condições retratam uma área com características semelhantes ao aquífero em estudo, todavia é fundamental a realização de testes de infiltração e análise qualitativa do infiltrado para garantir a viabilidade da recarga com ART.

O mapeamento auxiliou a escolha de áreas com características adequadas para realizar a recarga artificial do aquífero, segundo os critérios ambientais, técnicos e econômico.

No programa QGIS, após o mapeamento da composição hidrogeológica e das zonas de transmissividade do aquífero Dunas/Barreiras, foi inserida a camada do *OpenStreetMap*, ferramenta de mapa *online* com uma grande diversidade de informações locais, inclusive de uso e ocupação do solo, para auxiliar na escolha da área mais adequada para a recarga. Primeiramente, considerou-se uma área dentro do limite máximo de 8,0 Km a sudoeste da ETE, já que a norte há o rio Potengi, a leste e nordeste estão áreas de proteção ambiental (Cordões Dunares do Guarapes e Parque da Cidade) e a sul está localizada área militar de uso da Marinha. Conforme Figura 5, a área delimitada pelo círculo pertence ao município de Macaíba, apresenta baixa ocupação e alta disponibilidade de áreas inutilizadas.

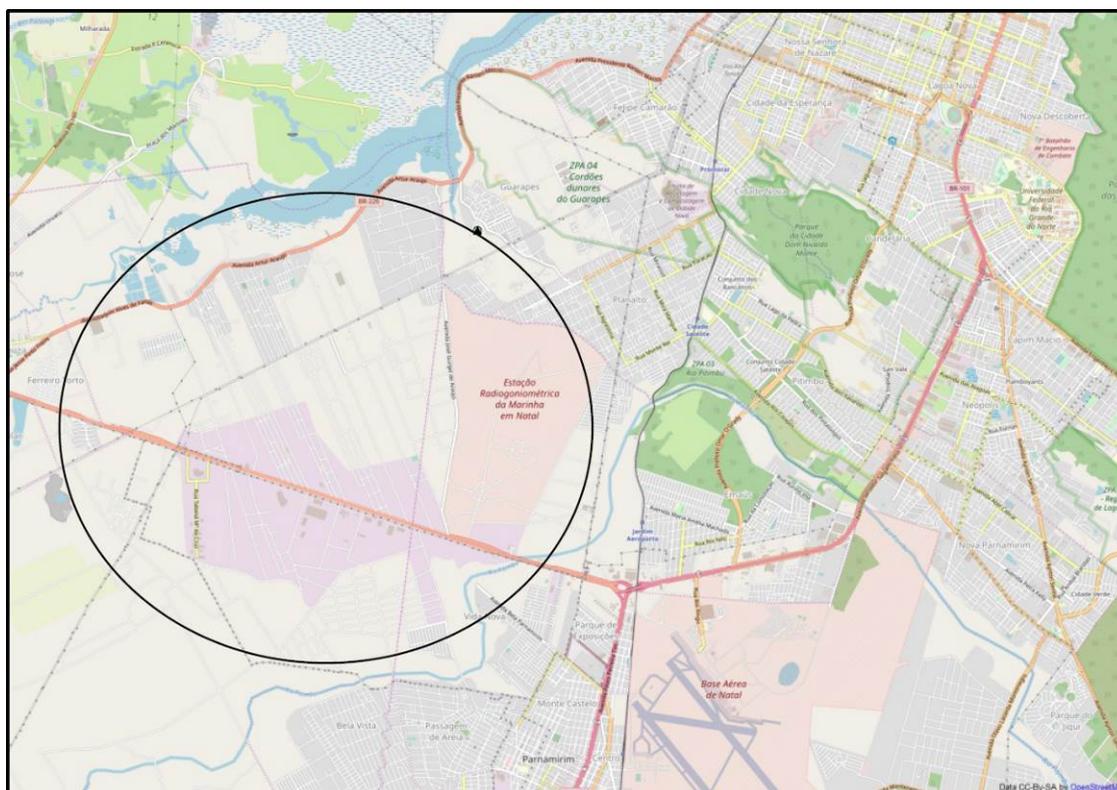


Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo próximo à ETE Jundiáí Guarapes.

Dentro da área delimitada pelo círculo é necessário considerar uma distância de 100 m de captações de água para consumo humano, e 200 m de aglomerados populacionais, para proteger estas áreas de possíveis riscos de contaminação.

Quanto uso ou ocupação do solo, foi observado a disponibilidade de áreas sem uso econômico e que não necessita realizar a remoção de comunidades e famílias.

Quanto às características do solo observou-se que a textura arenosa do solo, com baixa fração de argila, sem rocha no topo e com profundidade superior a 10 m, favorece a infiltração de efluente no solo, promovendo melhoria da qualidade da água reutilizada.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O reúso potável indireto é uma alternativa atraente diante de situações de estresse hídrico, porém deve ser regulamentada para que sua prática ofereça o menor risco possível, já que a recarga artificial de aquífero não é exequível sem algum grau de risco, os quais devem ser avaliados diante dos benefícios que a recarga trará e face aos riscos decorrentes da não tomada de medidas, como o rebaixamento do lençol freático, intrusão de cunha salina e perda da capacidade de suprimento de água para o sistema de abastecimento público.

Através do uso de SIG foi possível identificar áreas com características adequadas à implantação de sistema de infiltração de ART para recarga artificial de aquífero na cidade de Macaíba, pertencente à Região Metropolitana de Natal.

Diante de necessidade de suprir a recarga urbana do aquífero Dunas/Barreiras é necessário a implementação de técnica ambientalmente adequada, tecnicamente e economicamente viável. Por isso, se faz necessário um estudo de viabilidade econômica, para estimar os valores necessários para implantação da recarga artificial de aquífero com ART, e assim, despertar e impulsionar o interesse pela adoção dessa prática sustentável.

Também se faz necessário, complementarmente, estudos de caracterização do solo local e sua atuação como meio filtrante, para obter o nível de eficiência de remoção de poluentes na zona insaturada. Considerando que no Estudo de Impacto Ambiental da ETE há a previsão de sistema de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas, será possível aferir se a recarga com ART não irá causar impacto negativo na qualidade da água subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCALDE-SANZ, L.; GAWLIK, B. M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level, EUR 28962 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.
2. AMY, G.; DREWES, J. SoilAquiferTreatment (SAT) as a Natural andSustainableWastewaterReclamation/Reuse Technology: FateofWastewaterEffluentOrganicMatter (EfOM) and Trace OrganicCompounds. Environmental Monitoringand Assessment. vol.129, p.19-26. 2007.
3. ANA (Agência Nacional de Águas). Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da região metropolitana de Natal (RMN). Brasília: ANA, v. 2, 2012.
4. ANUÁRIO NATAL 2014. Prefeitura Municipal de Natal.
5. BARBOSA, C. M. S; MATTOS, A. Conceitos e diretrizes para recarga artificial de aquíferos. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2009.
6. COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). Relatório Anual 2018 - Qualidade da Água Natal/RN - Zona Norte. Disponível em: <<http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/caern/DOC/DOC000000000172761.PDF>>. Acesso em: 14 mai. 2018.
7. DIAMANTINO, C. Metodologias de recarga artificial de aquíferos. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Évora, 2005.
8. HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 7 n.4. out./dez. 2002, pg. 75-95.
9. IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Perfil do seu município: Natal. 2009. 23 p.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.



11. LEVANTESI et al. Quantification of pathogenic microorganisms and microbial indicators in three wastewater reclamation and managed aquifer recharge facilities in Europe. *Science of The Total Environment*, volume 408, p. 4923-4930. out. 2010.
12. METCALF; EDDY. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.
13. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016*. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.
14. SHARMA, S. K.; KENNEDY, M. D. Soil aquifer treatment for wastewater treatment and reuse. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v. 119. pg. 671-677. 2017.
15. SILVA, F.; SCALIZE, P. S.; CRUVINEL, K. A. S.; ALBUQUERQUE, A. Caracterização de solos residuais para infiltração de efluente de estação de tratamento de esgoto. *EngSanitAmbient*, v.22 n.1, jan/fev 2017, pg. 95-102.
16. TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. (coordenadores). *Reúso de água: conceitos, teoria e práticas*. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2010.
17. VANDENBOHEDE, A.; WALLIS, L.; HOUTTE, E. V.; RANST, E. V. Hydrogeochemical transport modeling of the infiltration of tertiary treated wastewater in a dune area, Belgium. *Hydrogeology Journal*, v. 21. fls. 1307–1321. 2013. DOI 10.1007/s10040-013-1008-x.