

## GESTÃO CIRCULAR DAS ÁGUAS: ESTUDO DE CASO NO INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO

Mateus Cunha Mayer<sup>1</sup>  
Rodrigo de Andrade Barbosa<sup>2</sup>  
João Paulo de Oliveira Simões<sup>3</sup>  
Salomão de Sousa Medeiros<sup>4</sup>  
George Rodrigues Lambais<sup>5</sup>

### RESUMO

O semiárido brasileiro possui 1.262 municípios, dos quais 39% possuem até 10 mil habitantes, que geralmente não tem acesso a tecnologias alternativas para diminuir a vulnerabilidade hídrica da região. Desta forma, o INSA vem desenvolvendo e popularizando tecnologias para alcançar a gestão circular das águas, através da implantação de um sistema complementar de abastecimento de água de chuva e um sistema de tratamento de esgoto para reúso agrícola, implantados inicialmente na sua sede administrativa, onde toda a água da chuva precipitada no local é aproveitada pelo instituto e, conseqüentemente, todo o esgoto gerado é tratado e reutilizado na irrigação agrícola de áreas experimentais na própria instituição. Os resultados comprovaram que o sistema de abastecimento complementar promoveu uma economia de R\$ 26.648,00 ao longo dos últimos três anos, diminuindo a dependência do fornecimento de água pela concessionária pública. Já o sistema de tratamento de esgoto apresentou eficiência na remoção de matéria orgânica, com satisfatória manutenção de nutrientes e qualidade sanitária, indicando a aptidão do efluente para o reúso agrícola. Sendo assim, a tecnologia de gestão circular da água, adotada no INSA, poderá contribuir satisfatoriamente para a diminuição do estresse hídrico no semiárido brasileiro, colaborando para o desenvolvimento sustentável da região.

**Palavras-chave:** Abastecimento complementar, Água de chuva, Tratamento de esgoto, Reúso agrícola, Economia circular.

### INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional, a poluição e a falta de gestão estão impactando diretamente os recursos hídricos no Brasil e no mundo. Em regiões áridas e semiáridas a água tornou-se fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico. Todavia, o fenômeno da escassez não é exclusivo de tais áreas, mesmo em regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender as demandas excessivamente elevadas, têm ocorrido conflitos de

<sup>1</sup>Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, [mateus.mayer@insa.gov.br](mailto:mateus.mayer@insa.gov.br);

<sup>2</sup>Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, [rodrigo.barbosa@insa.gov.br](mailto:rodrigo.barbosa@insa.gov.br);

<sup>3</sup>Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, [joao.simoes@insa.gov.br](mailto:joao.simoes@insa.gov.br);

<sup>4</sup>Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, [salomao.medeiros@insa.gov.br](mailto:salomao.medeiros@insa.gov.br);

<sup>5</sup>Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, [george.lambais@insa.gov.br](mailto:george.lambais@insa.gov.br);

usos e restrições de consumo. A disponibilidade hídrica vem sendo afetada, tanto sob o ponto de vista qualitativo como quantitativo, principalmente devido aos elevados índices de evaporação, distribuição irregular das chuvas, disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de esgoto sem tratamento.

A região semiárida apresenta precipitações médias anuais da ordem de 400 mm. Nesta perspectiva, surge a necessidade de buscar soluções alternativas para diminuir a vulnerabilidade hídrica da região (JATOBÁ *et. al.*, 2017, p. 136-149). Uma forma de conservação e preservação dos escassos recursos hídricos disponíveis é a utilização de fontes alternativas de água, como o aproveitamento imediato da água de chuva (PALLA *et. al.*, 2012, p. 71-80). A adoção de reservatórios para armazenamento imediato da água de chuva é uma prática já disseminada em muitos países, sendo, portanto, uma alternativa viável (ANDRADE NETO, 2013, p. 73-86).

A captação da água de chuva é uma tecnologia que inicialmente foi adotada por comunidades rurais para atender os diferentes usos no núcleo familiar, inclusive para usos potáveis. Entretanto, com os sérios problemas hídricos enfrentados em diferentes regiões, que afetam diretamente o abastecimento público, essa tecnologia vem adentrando o setor urbano como uma fonte complementar ao sistema de abastecimento.

O uso de reservatórios e/ou cisternas para captação e armazenamento da água de chuva para consumo doméstico é uma prática milenar em várias regiões do mundo e, atualmente, tem merecido maior interesse e ampla aplicação. No meio rural, as águas de chuva armazenadas em cisternas são utilizadas para consumo doméstico. Nas cidades, as cisternas prestam-se, principalmente, para controle de enchentes, mas também podem ser uma importante fonte complementar de suprimento de água. Ademais, é uma tecnologia ecologicamente sustentável e de aplicação difusa e socialmente justa.

Nesse contexto, o aproveitamento das águas pluviais surge como um importante papel para o aumento da oferta de água, além de reduzir os impactos sobre o ambiente. Muitas regiões com problemas de escassez de água já fazem uso da água de chuva, como por exemplo, o semiárido brasileiro, que possui tradição nesse tipo de tecnologia social, cuja adoção foi alavancada pelas ações do Programa um Milhão de Cisterna (P1MC) e o Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2), que juntos, contemplam mais de 596.917 cisternas rurais e aproximadamente 95.000 cisternas para uso familiar e comunitário (ASA, 2017).

Diante da problemática da escassez dos recursos hídricos e do potencial de aproveitamento das águas pluviais, outros locais e instituições, no Brasil e no mundo, também realizaram ações neste sentido, a exemplo do Ceará, que foi um dos estados que mais investiu em infraestrutura hídrica diante da crise (RABELO; LIMA NETO, 2018, p. 61-79).

No Brasil é comum a utilização de fontes alternativas de recursos hídricos, porém muitas vezes são realizadas de forma inadequada, como exemplo, temos a utilização do esgoto sem tratamento na agricultura. Diante desta realidade, ressalta-se que o esgoto produzido necessita de tratamento antes do reúso ou lançamento em corpos hídricos.

A produção de esgoto no Semiárido Brasileiro (SAB) alcançou a marca de 423 milhões de m<sup>3</sup>/ano, onde o volume coletado contabilizou 117 milhões de m<sup>3</sup>/ano, aproximadamente 28%. Por fim, o volume de esgoto tratado se limitou a 89 milhões m<sup>3</sup>/ano, o que equivale a 21% do todo o esgoto produzido no SAB (MEDEIROS *et. al.*, 2014, p. 63). Desta forma, no semiárido temos 79% de esgoto sendo lançado sem tratamento, não atendendo a resolução CONAMA 430/2011, poluindo os recursos hídricos e prejudicando a saúde da população; isto evidencia a importância da universalização do saneamento básico, proposta pela Política Nacional de Saneamento Básico (Lei N° 11.445, 2007). Para alcançar essa meta, o Brasil precisa investir no saneamento básico e na gestão dos recursos hídricos.

O tipo de tratamento necessário, para atender os padrões de lançamento de efluentes, depende das características dos resíduos líquidos, podendo ser físico, químico e/ou biológico. Os esgotos tipicamente domésticos apresentam uma boa biodegradabilidade, favorecendo os processos metabólicos dos microrganismos, então, geralmente utiliza-se o tratamento biológico, que pode ser aeróbio ou anaeróbio. Em ambos, os microrganismos utilizam os componentes do esgoto como substrato, mineralizando a matéria orgânica e outros compostos (SOUSA, 2005, p 260-265). Os principais sistemas anaeróbios utilizados no Brasil, para o tratamento de esgotos, são as lagoas anaeróbias, o decanto-digestor, o filtro anaeróbio, o reator anaeróbio de leito expandido e/ou fluidificado, e o reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo – UASB (PASSIG; CAMPOS, 2005).

A partir da década de 70, a tecnologia do reator UASB se tornou uma das mais reconhecidas, principalmente para países que possuem poucos recursos e clima quente (KHAN *et. al.*, 2011, p. 1232-1251). Isto se deve as vantagens que este sistema apresenta, tais como: baixo custo de implantação, recuperação de energia na forma de biogás, facilidade de operação, pequena demanda por área e baixa produção de lodo que sai adensado e estabilizado (VAN HAANDEL; LETINGA, 1994, p. 240; CHERNICHARO, 2007, p. 379).

Os reatores UASB se tornaram uma alternativa muito vantajosa para o tratamento de despejos líquidos no Brasil, pois o clima é um fator condicionante, além de possuir baixos custos de instalação e operação. Apesar das grandes vantagens em utilizar processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias, existem também algumas desvantagens, dentre elas,

destacam-se a necessidade de pós-tratamento para alcançar os padrões exigidos na legislação para lançamento ou reúso (ROCHA *et. al.*, 2017, p. 29-44).

Nesta perspectiva, a gestão das águas tem papel fundamental, uma das ações mais importantes dessa gestão é buscar fontes alternativas de água para usos menos nobres, destinando a água potável para demandas mais exigentes. O Instituto Nacional do Semiárido (INSA/MCTIC) vem contribuindo na ampliação da capacidade de resposta do SAB a vulnerabilidade hídrica, por meio da pesquisa e desenvolvimento tecnológico, quanto ao aproveitamento de águas de chuvas, salinas e residuárias, visando o atendimento às atividades urbana, agrícola e industrial. Na sede administrativa é realizada a gestão circular das águas, através de um sistema de abastecimento complementar de água de chuva e um sistema de tratamento de esgoto para reúso agrícola.

## **METODOLOGIA**

### **Sistema de aproveitamento da água de chuva**

O Sistema de Aproveitamento da Água de Chuva (SAAC) está implantado no Instituto Nacional do Semiárido (INSA), unidade de pesquisa vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), localizado no município de Campina Grande, PB. Esse sistema de abastecimento complementar é composto por uma unidade de captação, armazenamento, tratamento e aproveitamento imediato das águas pluviais.

Para que tal atividade seja realizada, as áreas cobertas (telhados) dos setores foram adaptadas para receber os dispositivos hidráulicos. Desse modo, as instalações receberam calhas para coleta das águas; tubos verticais e horizontais para direcionamento das águas; e tubulações para o desvio das primeiras chuvas com capacidade de descarte do primeiro milímetro; e, por fim, a implantação do sistema de armazenamento, composto por 34 caixas d'água com capacidade de 20.000 litros cada unidade, totalizando um aporte de armazenamento de 680.000 litros de água. Toda a estrutura de cobertura da sede administrativa foi utilizada para a captação da água de chuva. A área dos telhados pode ser observada no panorama apresentado na Fig. 1.

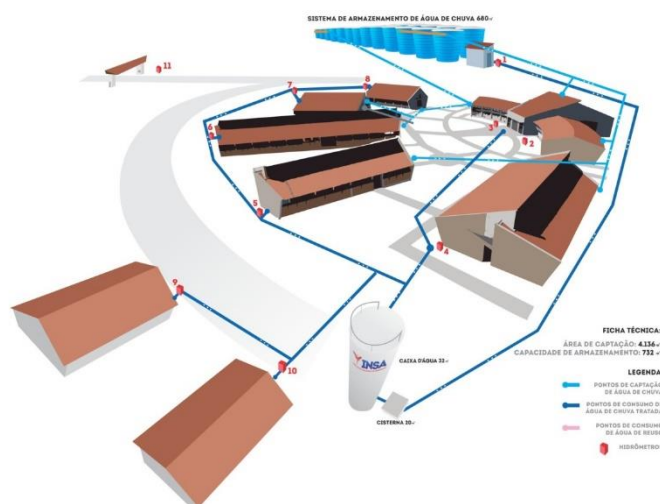


**Figura 1-** Panorama da sede administrativa do INSA.

A unidade de abastecimento de água do INSA é composta por dois sistemas que funcionam de forma interligada: o Sistema Público de Abastecimento de Água (SPAA), que fornece água através do sistema público urbano; e o complementar, proveniente do Sistema de Aproveitamento da Água de Chuva (SAAC), conforme apresentado na Fig. 2. Assim, na ausência de uma das fontes, a outra é acionada.

A rede de distribuição externa fornece água através do sistema público de abastecimento. Sendo assim, possui um hidrômetro externo para registrar o consumo mensal, enquanto que o sistema interno possui hidrômetros em todos os setores de consumo, os quais são submetidos às leituras mensais.

Para o consumo ser efetivo em todos os usos, a água de chuva armazenada no INSA passa por um tratamento simplificado, composto pelas etapas de filtração e desinfecção com cloro (conforme padrão de potabilidade de água vigente), e é direcionada às caixas d'água de distribuição. Partindo deste ponto, a água é distribuída para todas as instalações, por exemplo: banheiros, copas, laboratórios, jardinagem, limpeza em geral, entre outros.



**Figura 2** - Layout do Sistema de Aproveitamento da Água de Chuva (SAAC).

Os dados de precipitação pluviométrica foram coletados na estação climatológica automática (HOBO U30 *Station*), instalada na sede do INSA. Para o estudo foi utilizado um período de três anos de dados pluviométricos, de janeiro de 2016 a dezembro de 2018, cujo total de chuvas observadas foi de: 574 mm (2018); 360 mm (2017); e 440 mm (2016).

As informações das áreas das superfícies de captação foram obtidas de projetos arquitetônicos (planta baixa). A Tabela 1 apresenta a área de cobertura de cada uma das instalações (prédios) que fazem parte do sistema de captação da água de chuva.

**Tabela 1** - Áreas das superfícies de captação do Instituto Nacional do Semiárido - INSA.

<b>Instalações</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Setor administrativo	982
Setor técnico I e II / laboratório/ refeitório	1.879
Auditório / biblioteca / salas de treinamento	1.275
<b>Área total de cobertura</b>	<b>4.136</b>

O monitoramento quantitativo do sistema de abastecimento de água do INSA é realizado através de leituras mensais em todos os hidrômetros instalados na área externa e interna, sempre observando a variação de volume consumido entre o mês atual e o anterior.

O consumo do SPAA é acompanhado por um único hidrômetro, que registra o consumo mensal, já os demais hidrômetros registram o consumo individualizado (por setor) das instalações (casa de bomba, auditórios, laboratório, refeitório, setor administrativo, setor

técnico I e II, casa do trabalhador, garagem e guarita). Com essas informações foi possível verificar os meses de maior consumo de água, o total consumido por setor e a contribuição da água de chuva como fonte complementar ao sistema de abastecimento urbano.

Os parâmetros qualitativos selecionados para o SAAC foram analisados conforme procedimentos analíticos estabelecidos no *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (APHA, 2012). O monitoramento da qualidade da água foi realizado por meio da caracterização físico-química (Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, pH e Cloro Livre) e microbiológica (Coliformes Totais e *Escherichia coli*), seguindo os critérios de coleta, amostragem e periodicidade das análises. Para esse acompanhamento, foram selecionados pontos de coletas de água em diferentes locais do sistema de captação (caixas de armazenamento, cisterna e pontos de consumo direto).

### Sistema de tratamento de esgoto

Anteriormente, o sistema de tratamento de esgoto do INSA era composto por um tanque séptico (TS) seguido de um filtro anaeróbio, devido à necessidade de se produzir um efluente com qualidade para lançamento em corpo hídrico. Recentemente, o sistema foi modificado, passando a ser composto por duas etapas de tratamento em paralelo (S1 e S2), produzindo efluentes distintos. O S1 é composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e lagoa de polimento, e o S2 é composto por tanque séptico, Reator Anaeróbio de Manta de Lodo – UASB e lagoa de polimento. Os efluentes tratados são armazenados em reservatórios para posterior irrigação das unidades experimentais de reúso agrícola, conforme apresentado na Fig. 3.



**Figura 3** – Visão panorâmica do sistema de tratamento de esgoto. Foto: Felipe Lavorato (INSA).

O tanque séptico tem a função de remover sólidos grosseiros e matéria orgânica particulada, através de processo físico; o filtro anaeróbio remove matéria orgânica através de processos físico e biológico; o reator UASB remove matéria orgânica através de processo biológico; e as lagoas de polimento removem os patógenos da água, mantendo os nutrientes importantes para a agricultura, como fósforo e nitrogênio.

O monitoramento do sistema de tratamento é realizado mensalmente, desde o mês de Janeiro de 2019, por meio da caracterização físico-química e microbiológica dos afluentes e efluentes produzidos. Os parâmetros físico-químicos monitorados são: sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV); pH, alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total e nitrogênio amoniacal; por fim, os parâmetros microbiológicos analisados são os coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos. As análises foram realizadas de acordo com as metodologias condizentes (APHA; AWWA; WEF, 2012), com exceção de alcalinidade (BUCHAUER, 1998, p. 49-56).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Sistema de aproveitamento de água de chuva

A demanda de água para uso interno do INSA é de aproximadamente 1000 m<sup>3</sup> de água por ano. O consumo total de água em 2018 foi de 1.221 m<sup>3</sup>, sendo que o consumo através do SAAC foi de 886 m<sup>3</sup> (73%). Em 2017, o consumo total de água foi de 1.003 m<sup>3</sup>, sendo que o consumo através do SAAC foi de 780 m<sup>3</sup> (78%). Já em 2016, início do monitoramento quantitativo, o aporte total de água consumida foi de 1.065 m<sup>3</sup>, com utilização de 68% (720 m<sup>3</sup>) correspondente ao SAAC.

Quanto aos fatores financeiros, o total economizado com o consumo da água de chuva em 2018, no INSA, foi de R\$ 10.921,00; em 2017, a economia gerada foi da ordem de R\$ 9.200,00; já em 2016, o consumo da fonte de água complementar proporcionou uma economia de R\$ 6.527,00 ao órgão. Nos três anos de monitoramento foi economizado um total de R\$ 26.648,00.

É notória a viabilidade econômica da implantação de técnicas de captação e armazenamento de águas pluviais (MORUZZI *et. al.*, 2016, p. 17-28), que por meio de análises do potencial de uso da água de chuva, capacidade de armazenamento e retorno dos recursos envolvidos, chegaram à conclusão que podem atender a altas demandas de usos do local.



Os resultados dos parâmetros de monitoramento qualitativo, referentes ao SAAC, atenderam aos valores exigidos na portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde.

### **Sistema de tratamento de esgoto**

O efluente do sistema de tratamento de esgoto da sede do INSA apresentou uma concentração média de DQO de 210 mgO<sub>2</sub>/L, classificando-o como esgoto fraco (METCALF & EDDY, 2017, p. 2008). O reator UASB e o filtro anaeróbio apresentaram uma eficiência média de remoção de DBO<sub>5</sub> de 41 e 40%, respectivamente. A DBO<sub>5</sub> encontrada nos efluentes das lagoas de polimento foram em média de 110 ± 63 mgO<sub>2</sub>/L. Levando-se em consideração que a resolução CONAMA Nº 430/2011 estabelece uma remoção mínima de 60% de DBO<sub>5</sub> ou uma concentração efluente de 120 mgO<sub>2</sub>/L, podemos considerar que o sistema de tratamento de esgoto da sede administrativa está respeitando a legislação ambiental.

Para o reúso agrícola, o efluente almejado deve conter, principalmente, baixa concentração de material orgânico, preservação de nutrientes (N e P), baixo teor de sólidos suspensos, bem como uma qualidade sanitária estipulada pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Todas essas características são encontradas nos efluentes do sistema de tratamento de esgoto da sede administrativa do INSA.

Os resultados da qualidade sanitária do efluente final, para todo o período de monitoramento, tiveram uma concentração média de *Escherichia coli* abaixo de 1,0x10<sup>3</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup> e nenhum ovo de helmintos encontrado. Segundo a OMS, efluentes com essas características sanitárias podem ser utilizados na agricultura para irrigação irrestrita (WHO, 2006). O limite aceitável de *E. coli* para irrigação irrestrita de culturas a serem ingeridas cruas é de <10<sup>3</sup> ou 10<sup>4</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup> para espécies vegetais que se desenvolvem distantes do nível do solo. Para irrigação restrita, o valor médio aceitável no efluente é <10<sup>5</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup>.

A concentração média nitrogênio amoniacal foi de 33 ± 11 mg/L, e a de fósforo total foi de 7,7 ± 1,4 mg/L. Estes valores apontam que as lagoas de polimento com altura de 1,0 metro conservam nutrientes (PEREIRA *et. al.*, 2010, p. 79-88), já que encontraram concentrações efluentes de fósforo total de 1,11 mg/L. Outros autores encontraram concentrações de fósforo sensivelmente constantes ao longo da série de lagoas (próximos de 10 mg/L); entretanto, os valores de amônia foram claramente decrescentes ao longo das lagoas (40 a 10 mg/L), provavelmente como resultado da sua volatilização (BASTOS *et. al.*, 2010, p. 97 – 107). Outrem encontraram concentrações de nitrogênio amoniacal de 40,4 mg/L para reator UASB,

e 4,5 mg/L para lagoa de polimento; fósforo total de 6,1 mg/L para reator UASB, e 3,7 mg/L para lagoa de polimento (SANTOS *et. al.*, 2006).

O valor médio de pH do efluente das lagoas de polimento foi de 8,7, estando dentro da faixa padrão preconizada pela resolução CONAMA Nº 430/2011 (5,0 a 9,0). Já a concentração média de alcalinidade, no efluente das lagoas, foi de  $687 \pm 106$  mg/L; a alcalinidade média do reator UASB sempre foi a maior entre todas as unidades do sistema de tratamento (964 mg/L). Na literatura foram encontradas concentrações efluentes de alcalinidade de 1442 mg/L (PEREIRA *et. al.*, 2010, p. 79-88), pH superficial nas lagoas variando de 7,5 a 9,5 (BASTOS *et. al.*, 2010, p. 97-107), e pH máximo de 7,97 para reator UASB, e 10,57 para lagoa de polimento (SANTOS *et. al.*, 2006).

Analisando comparativamente os sistemas de tratamento estudados no INSA, nota-se, até o presente momento, que o sistema composto por filtro anaeróbio e lagoa de polimento apresentou resultados similares ao sistema composto por reator UASB + lagoa de polimento, porém, este ocupa uma área bem menor e custo reduzido para sua implantação.

A produção de água de reúso, a partir do tratamento do esgoto gerado nas dependências do INSA, manteve-se na faixa de 1.280 Litros/dia, resultando em 38,3 m<sup>3</sup>/mês de efluente tratado apto para ser irrigado por gotejamento nas unidades experimentais de reúso agrícola. Dessa forma, a água, que contém nutrientes preservados do esgoto doméstico, proporciona uma fertirrigação no sistema agrícola, como pode ser visto na Fig. 4.



**Figura 4** - Visão panorâmica do sistema de tratamento de esgoto e unidades experimentais de reúso agrícola. Foto: Felipe Lavorato (INSA).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de aproveitamento de água de chuva implantada no INSA mostrou-se viável como fonte complementar ao sistema público de abastecimento, sendo uma forma de conservação e preservação dos recursos hídricos disponíveis em nossa região. O consumo exclusivo da água de chuva, realizado durante o período estudado, gerou uma economia no custo do serviço público de fornecimento de água pela concessionária estadual, mostrando a sustentabilidade técnica e econômica da tecnologia estudada.

Para o período monitorado (2016, 2017 e 2018), foi possível constatar que o consumo oriundo do SAAC correspondeu a 73%, gerando uma economia média anual de R\$ 8.883,00. Vale salientar que durante o período estudado, o município de Campina Grande-PB enfrentou uma crise de abastecimento de água provocada por estiagens prolongadas.

Existe um amplo conhecimento tecnológico que deve ser utilizado de forma mais competente com vistas ao aproveitamento imediato da água de chuva para diversos usos, sobretudo para maximizar a relação benefício/custo, aumentar a segurança sanitária dos sistemas e, assim, assegurar a distribuição e qualidade da água. Destaca-se a necessidade da continuidade de estudos voltados ao meio urbano, bem como o monitoramento do sistema e estudos mais avançados no tocante à captação e o armazenamento das águas pluviais.

Com relação ao sistema de tratamento de esgoto, pode-se constatar que o mesmo possui facilidades de instalação, operação e manutenção; estabilidade e eficiência operacional; dimensões compactas e custos compatíveis com o volume a ser tratado e com a qualidade de água para a finalidade preterida, sendo alternativa sustentável para aplicação em outras instituições ou comunidades do semiárido brasileiro.

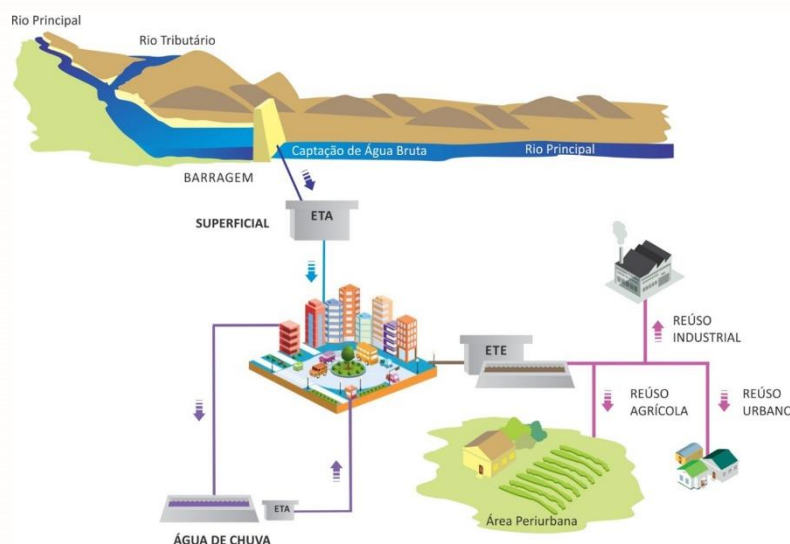
De forma similar à maioria dos processos compactos de tratamento de esgoto, os reatores UASB e filtros anaeróbios, ainda que bem adequados à remoção da matéria orgânica, não são eficientes na eliminação de patógenos, necessitando, portanto, de uma etapa de pós-tratamento. Tal objetivo pode ser alcançado de forma simples e conveniente em lagoas de polimento, constituindo uma das alternativas mais eficientes de desinfecção de efluentes de reatores UASB ou filtros anaeróbios, uma vez que mantêm a simplicidade conceitual e o baixo custo de implantação e operação.

Quantos aspectos nutricionais, em sistemas de tratamento convencionais, sua remoção é fundamental para atenuar o processo de eutrofização de corpos hídricos, entre outros impactos ambientais, quando do lançamento do efluente tratado para fins de diluição. Porém,

quando o mesmo se destina à irrigação, é interessante preservar, principalmente fósforo e nitrogênio, uma vez que esses elementos poderão substituir os fertilizantes químicos.

Diante dos resultados obtidos, o conceito de gestão circular das águas empregado no INSA mostra-se como uma alternativa viável para ser implantada em municípios de pequeno porte (até 10.000 habitantes), já que estes correspondem a 39% dos 1.262 municípios existentes no semiárido brasileiro.

Para tanto, o INSA propõe que os gestores públicos adotem tecnologias de aproveitamento de água de chuva e tratamento de esgoto para usos múltiplos, de forma a promover o conceito da gestão circular de águas no semiárido brasileiro, o que representará a sustentabilidade econômica e social da região, conforme apresentado na Fig. 5.



**Figura 5** – Proposta de gestão circular de águas para o Semiárido Brasileiro.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao MCTIC, à FINEP, ao CNPq e à CAPES, pelo incondicional apoio concedido para realização dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

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

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais. Disponível em <<http://www.asabrasil.org.br>>. Acesso em 20 de agosto. 2017.

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC, 22<sup>TH</sup> ed. 2012.

BASTOS, R. K. X.; DORNELAS, F. L.; RIOS, E. N.; RUAS, D. B.; OKANO, W. Y. Dinâmica da qualidade da água e da comunidade planctônica em lagoas de polimento. Estudo de caso no sudeste brasileiro. *Revista AIDIS de Engenharia e Ciências Ambientais*, v. 3, n. 1, p. 97 – 107, 2010.

BUCHAUER, K. A. A. Comparison of two simple titration procedure to determine volatile fatty acids in effluents to wastewater and sludge treatment process. *Water SA*, v. 1, n. 24, p. 49-56, 1998.

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. 379p.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; GALVÍNCIO, J. D. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 1, p. 136-149, 2017.

KHAN, A. A.; GAUR, R. Z.; TYAGI, V. K.; KHURSHEED, A.; LEW, B.; MEHROTRA, I.; KAZMI, A. A. Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, p. 1232-1251, 2011.

MEDEIROS, S. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, D. B.; BATISTA, R. O.; SANTOS JUNIOR, J. A.; LIMA, R. C. C.; PEREZ-MARIN, A. M. *Esgotamento Sanitário: Panorama para o Semiárido Brasileiro*. 1. ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2014. v. 1. 63p.

METCALF, L.; EDDY, H. P., *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York, McGraw-Hill, 5th ed., 2008 p., 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria de Consolidação nº 05 - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 430/11. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF, 2011.

MORUZZI, R. B.; SOUSA JUNIOR, W. C.; ARDUINO, J.; JULIO, M. Avaliação do aproveitamento de água pluvial para atendimento de uso não potável no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 17-28, 2016.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. L. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 62, p. 71-80, 2012.

PASSIG, F. H.; CAMPOS, J. R. Reator anaeróbio híbrido para tratamento de esgoto sanitário. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Mato Grosso do Sul, 2005.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 79-88, 2010.

RABELO, U. P.; LIMA NETO, I. E. Efeito de secas prolongadas nos recursos hídricos de uma região semiárida: uma análise comparativa para o Ceará. *Revista DAE*, v. 66, n. 212, p. 61-79, 2018.

ROCHA, J. M.; FALEIRO, G. G. V. F.; MAGALHÃES, J. S. F.; PEREIRA, J. O. Avaliação da retenção de sólidos em inovadora configuração de reator UASB tratando esgoto doméstico. *Revista DAE*, Edição nº: 205, v.65, p. 29-44, 2017.

SANTOS, K.D.; HENRIQUE, I.N.; SOUSA, J.T. DE; LEITE, V.D. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. Campina Grande, n. 1, 2006.

SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O. DE; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J.P.; LIMA, S.M.S. Tratamento de Esgotos para Uso na Agricultura do Semiárido Nordeste. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p 260-265, 2005.

VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande -PB: Epgraf, 1994. 240p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Excreta and greywater use in agriculture*. v. IV. Geneva: World Health Organization, 2006.