


**SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO E REUSO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS EM COMUNIDADES RURAIS E ISOLADAS (SISTEMA REAQUA) COMO ALTERNATIVA DE MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE SANEAMENTO RURAL, ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS DO CLIMA E MANUTENÇÃO DA SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL**

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-415>

**Data de submissão:** 26/11/2024

**Data de publicação:** 26/12/2024

**Carlos Eduardo Pacheco Lima**

Engenheiro Ambiental, Dsc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Mudanças Climáticas Globais, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF  
E-mail: carlos.pacheco-lima@embrapa.br

**Mariana Rodrigues Fontenelle**

Bióloga, Dsc. em Microbiologia Agrícola, Pesquisadora em Microbiologia Agrícola, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Lucimeire Pilon**

Engenheira Agrônoma, Dsc. em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura), Pesquisadora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Marcos Brandão Braga**

Engenheiro Agrônomo, Dsc. em Irrigação e Drenagem, Pesquisador em Irrigação e Drenagem, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Juscimar da Silva**

Engenheiro Agrônomo, Dsc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Ciência do Solo (Desenvolvimento de novos fertilizantes), Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Ítalo Moraes Rocha Guedes**

Engenheiro Agrônomo, Dsc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Nutrição Mineral de Plantas e Cultivo Protegido, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Ítalo Moraes Rocha Guedes**

Engenheiro Agrônomo, Dsc. em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador em Nutrição Mineral de Plantas e Cultivo Protegido, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

**Joana Gabriely Ferreira**

Graduanda em Ciências Ambientais, Bolsista PIBIC FAP-DF, UNB/Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Bruno Santos Florindo**

Graduando em Ciências Ambientais, Bolsista PIBIC CNPq, UNB/Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

## RESUMO

O atendimento à população rural brasileira por serviços de tratamento de esgoto ainda é precário. Dados dispostos no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR, 2019) dão conta que cerca de

80% dos domicílios presentes nessas áreas dispõem seu esgoto inadequadamente, na forma de fossas sépticas ou diretamente em lagos, rios e mar. Essa realidade atinge cerca de 40 milhões de brasileiros. Essa situação gera riscos à saúde pública e prejudica a qualidade ambiental, especialmente a qualidade dos corpos d'água superficiais e subterrâneos, bem como dos solos. Adiciona-se à situação atualmente observada àquela projetada em decorrência de cenários futuros decorrentes das mudanças climáticas globais. O sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC. 2023) aponta para um aumento do déficit hídrico para a maior parte do território brasileiro, sendo necessário, como estratégia de adaptação a esse cenário, o desenvolvimento de ativos tecnológicos que visam à melhoria da qualidade da água e o melhor aproveitamento do uso desse recurso natural. Sendo a agricultura a atividade econômica maior consumidora de água no país e fortemente dependente da importação de fertilizantes, fica claro que sistemas que proporcionem o reúso de efluentes tratados, bem como dos nutrientes neles presentes, ganham força e tornam-se prioritários para lidar com os riscos esperados, aumentando a resiliência e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Por essa razão, a Embrapa em parceria com o IICA desenvolveu o Sistema de tratamento de esgoto sanitário e reúso de água para a produção de hortaliças em comunidades rurais e isoladas (Sistema ReAqua) que visa levar uma alternativa de baixo custo, fácil instalação e operação, baixa dependência energética e de mão de obra, e elevada eficiência de remoção de carga orgânica e de patógenos para atendimento a comunidades rurais e isoladas. O Sistema ReAqua é constituído de duas etapas, sendo a primeira composta pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e a segunda pelo sistema agrícola de produção de hortaliças. A ETE é montada utilizando-se tanques e caixas d'água, tubos e conexões de PVC ou de fibra de vidro, além de materiais utilizados para construção civil. O sistema de tratamento de esgoto baseia-se em conjunto Tanque-Séptico – Filtro Anaeróbio, seguido por filtração lenta sequencial com dificuldade crescente e desinfecção por cloro. Já a etapa de sistema agrícola de produção de hortaliças é baseada no uso da irrigação por gravidade, reaproveitamento de nutrientes por fertirrigação, uso de cobertura do solo por mulching plástico ou de resíduos vegetais e baixa demanda energética para irrigação. A qualidade da água de reúso, bem como o manejo agrícola utilizado, permite a produção segura de hortaliças com menor dependência de fertilizantes minerais.

**Palavras-chave:** Saneamento rural, tratamento descentralizado de esgoto sanitário, reúso agrícola de água, objetivo de desenvolvimento sustentável 6 (ODS 6), adaptação à emergência climática, justiça ambiental, alimentar e climática.

## 1 INTRODUÇÃO

Os índices de tratamento de esgoto observados no Brasil são preocupantes. Dados compilados pelo Instituto Trata Brasil dão conta que, por dia, é despejada diretamente na natureza, quantidade de esgoto equivalente a 5336 piscinas olímpicas (Trata Brasil, 2023a). Detalhando a situação, 44,2% da população brasileira, cerca de 100 milhões de habitantes, sequer tem acesso à rede de coleta e apenas 51,2% do esgoto é tratado em algum nível. Dos 100 maiores municípios brasileiros, um número muito pequeno, 34, apresentam porcentagem da população atendida por serviços de coleta de esgoto superior a 90%. No que tange respeito ao tratamento de esgoto, apenas 18 municípios dos 100 maiores apresentam porcentagem de esgoto tratado superior a 80%. As regiões norte e nordeste apresentam os piores números de coleta (14% e 30,2%, respectivamente) e tratamento de esgoto (20,6% e 35,5%, respectivamente), enquanto as regiões sudeste e centro-oeste apresentam os melhores números (81,7% e 61,9% para coleta de esgoto; 58,6% e 60,5% para tratamento de esgoto) (Trata Brasil, 2023b).

Dados do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR, 2019) apontam que os números referentes à disposição e tratamento inadequados de esgoto sanitário pouco evoluíram entre 1991 e 2010 em áreas rurais. Os dados dispostos no PNSR (2019) mostram que, em 2010, havia 64% dos domicílios que dispunham seu esgoto sanitário em fossas rudimentares, 16% em valas, lagos e mar, 16% em fossas sépticas e 4% na rede global. Apesar disso, houve um grande incremento no número de domicílios rurais com acesso a banheiros, gerando mais efluente a ser tratado. O detalhamento dos dados mostra ainda que 20,6% dos habitantes de áreas rurais têm acesso adequado a serviços de tratamento de esgoto sanitário, 54,1% dos habitantes têm acesso precário e 25,3% não possuem nenhum tipo de atendimento. Essa realidade é vivenciada diariamente por cerca de 40 milhões de brasileiros (PNSR, 2019). Boa parte dessa realidade reflete o menor poder aquisitivo e a exclusão social que a população residente em áreas rurais no Brasil vivencia.

Destes, cerca de 16 milhões de habitantes vivem em aglomerados rurais (PNSR, 2019). Apesar desse expressivo contingente populacional, a maioria das soluções tecnológicas propostas para o tratamento de esgoto destinada a áreas rurais tem sido para atendimento individual em nível de propriedade agrícola. É possível que soluções individuais de tratamento apresentem maior custo de implementação dada a sua escala de produção/aplicação. Faz-se necessário, portanto, o desenvolvimento de sistemas descentralizados coletivos de tratamento de esgoto sanitário como estratégia para melhoria das condições de saneamento rural no Brasil.

Vários sistemas têm sido propostos para atendimento a áreas rurais, tais quais o uso de conjuntos tanques sépticos e filtros anaeróbios (Vianna et al., 2018), os tanques de evapotranspiração – TEVAP (Costa et al., 2019; Reis et al., 2023), o Sistema SARA (Mayer et al., 2021) e a Fossa Séptica

Biodigestora – FSB (Embrapa, 2001). As eficiências de tratamento desses sistemas descentralizados, entretanto, têm se mostrado muito variável e as concentrações de nutrientes e microrganismos patogênicos tem se mostrado, na maioria das vezes, altas no efluente final quando se objetiva o reuso para cultivos agrícolas de cultivos de espécies vegetais que são consumidas cruas, como é o caso de algumas hortaliças. Algumas dessas tecnologias têm atendido aos padrões propostos pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006) para reuso agrícola irrestrito. Cabe ressaltar que os parâmetros de qualidade definidos pela OMS levam em consideração tanto a saúde do consumidor quanto a do trabalhador e, ao longo do tempo, estudos conduzidos em ambiente tropical têm atestado a segurança dos limites por ela estabelecidos. Porém, atualmente existe uma convergência, sobretudo em países desenvolvidos, de utilização de parâmetros de qualidade da água mais restritivos que aqueles propostos pela OMS. Alguns desses parâmetros como, por exemplo, as concentrações de coliformes termotolerantes e/ou de *Escherichia Coli* chegam à ordem de grandeza de 100 a 1000 vezes menor.

No Brasil, embora não existam padrões nacionais de qualidade da água de reuso, em alguns estados eles já foram definidos, existindo resoluções cujos parâmetros de qualidade da água são similares às resoluções mais restritivas previamente citadas como, por exemplo, a resolução COEMA 02/2017, do estado do Ceará. Por outro lado, exemplos de resoluções menos restritivas em termos de exigência de qualidade da água de reuso, seguindo uma linha mais próxima aos padrões OMS (OMS, 2006), também são observadas, sendo aquelas predominantes, como é o caso da Resolução CERH – MG número 65 de 2020 (Minas Gerais), da Resolução número 419 de 2020 da Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura (Rio Grande do Sul) e da Resolução CONERH número 75 de 2010 (Bahia).

Algumas resoluções internacionais atuais estabelecem os limites de qualidade da água de reuso com base não apenas aos padrões de qualidade obtidos pelos sistemas de tratamento de esgoto sanitário, mas também em função do sistema de produção agrícola utilizado, considerando-se, principalmente, se a planta será ou não destinada à alimentação, a forma como o alimento será consumido (cru ou após processamento) e a existência ou não de contato da água de reuso com as partes comestíveis das plantas. Assim, para aquelas culturas consumidas cruas e que tem contato direto com a água de reuso como, por exemplo, aquelas irrigadas por aspersão, exige-se maior qualidade da água, enquanto, para essas mesmas culturas, quando irrigadas por gotejamento, tem-se uma menor exigência de qualidade. Um exemplo desse tipo de resolução é o Regulamento Europeu 741 de 2020 do Parlamento Europeu. Este regulamento também define como processos de tratamento de esgoto sanitário necessários para que a água de reuso possa ser utilizada para reuso agrícola irrestrito, sendo necessário Tratamento secundário + filtração + desinfecção.

É importante, portanto, que novas alternativas para atendimento a essas comunidades levem em consideração a necessidade de melhoria desses atributos de qualidade da água, principalmente ao se considerar a importância existente atualmente de se inserir os aparelhos de saneamento aos princípios da bioeconomia e economia circular, ampliando o leque de benefícios gerados. Especialmente importante para comunidades vulneráveis socialmente é o aproveitamento dos produtos, subprodutos e coprodutos do tratamento de esgoto para a produção segura de alimentos como estratégia de redução da insegurança alimentar e nutricional, bem como da pobreza comumente observada.

Existe uma clara relação entre os baixos níveis de tratamento de esgotos e a ocorrência de doenças infecciosas, especialmente aquelas de veiculação hídrica, resultando em prejuízos à saúde pública. Estima-se que anualmente, em todo o mundo, doenças diretamente ligadas aos baixos índices de saneamento matem 564 mil pessoas por meio de doenças diarreicas, sendo afetadas principalmente a população mais vulnerável socialmente (OMS, 2024). Essa situação pode resultar não apenas na maior prevalência de doenças passíveis de prevenção por meio de sistemas adequados de saneamento, mas também na elevação dos custos associados à manutenção dos sistemas de saúde (Salla et al., 2019). Estes autores, avaliando o uso de potenciais estratégias para melhoria do saneamento básico (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, gestão de resíduos sólidos e gestão de águas de drenagem) em Guiné-Bissau, verificaram que, para cada dólar investido em saneamento básico, há uma economia de 4,3 dólares em gastos com saúde pública, ficando clara a relação econômica positiva resultante dos investimentos nesse setor. De acordo com Lixil (2016), os custos mundiais das lacunas dos serviços de saneamento ainda existentes chegaram, em 2015, a 222,9 bilhões de dólares, considerando-se aspectos como a mortalidade, os gastos com os sistemas de saúde e as perdas de produtividade econômica. No Brasil o saneamento é entendido como uma das bases das estratégias de saúde pública, atualmente também denominada como saúde única, compreendendo o fornecimento de serviços e infraestrutura de água potável, coleta e tratamento de água residuária, além da drenagem e da gestão de resíduos sólidos.

Outro aspecto relevante relacionado à falta do tratamento adequado de esgotos sanitários está ligado aos seus potenciais impactos ambientais negativos. Diep et al. (2020) considera que a disposição inadequada de resíduos humanos no ambiente representa uma importante preocupação ecológica que afeta os ambientes terrestres e marinhos, bem como é capaz de causar danos à biodiversidade em longo prazo. Pieroni et al. (2015) elenca o lançamento de efluentes não tratados entre as atividades humanas capazes de causar maior degradação aos recursos hídricos. Katz et al. (2010), avaliando os efeitos da disposição final de esgotos sanitários em tanques sépticos em uma área cárstica no estado da Flórida,

Estados Unidos, verificaram um aumento expressivo de formas nitrogenadas nos lixiviados e em água subterrânea, chegando à conclusão de que o uso da disposição final de esgoto sanitário em cerca de 20 mil tanques sépticos resulta, anualmente, no incremento de 78 a 240 mil Kg de N nos solos, lixiviados e águas subterrâneas. Em adição a outros contaminantes comumente relacionados à disposição final de esgoto sanitário como fósforo, enxofre e cálcio, por exemplo, podem ser favorecidos processos de eutrofização de corpos d'água subterrâneos e superficiais, levando, como consequência, a um maior risco à saúde pública e a elevados custos para remediação.

O sexto relatório do IPCC (IPCC, 2023) ainda aponta para o aumento da probabilidade de ocorrência de déficit hídrico em boa parte do território brasileiro em decorrência de mudanças climáticas como a alteração dos regimes de chuva, o aumento da ocorrência de eventos extremos de chuva e da maior frequência e intensidade dos eventos de seca, além do aumento da frequência e intensidade das ondas de calor e da maior temperatura média do ar. Cabe mencionar que a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei 9433/1997) define como atividades de uso prioritário dos recursos hídricos o abastecimento humano e a dessedentação de animais, ficando a agricultura, em caso de ocorrência de crises hídricas, desguarnecida. Assim sendo, faz-se importante a busca por fontes alternativas de água, como aquelas de reuso, como estratégia de adaptação às mudanças do clima. Atento à essa realidade, o governo federal, na recém promulgada Lei 14935/2024, que institui a Política Nacional de Agricultura Urbana e Periurbana, em seu Art. 2º, inciso VII, inclui a difusão da reciclagem e o uso dos resíduos orgânicos, águas residuais e de águas pluviais como um dos seus objetivos. Ainda, dado o cenário de degradação ambiental e a necessidade de redução da pegada de carbono dos sistemas produtivos, é desejável a busca pelo reaproveitamento de resíduos como forma de redução da necessidade de uso de insumos externos como, por exemplo, os fertilizantes minerais. A utilização de água de reuso oriunda do Sistema ReAqua apresenta bom potencial de fertirrigação com concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre, magnésio e metais pesados, assim como os valores de pH, condutividade elétrica e de microrganismos patogênicos adequados à produção agrícola. Ressalta-se ainda que a agricultura brasileira é altamente dependente da importação de fertilizantes. Em 2023 foram importados cerca de 86% do total comercializado (ANDA, 2024). O reuso de água também fornece nutrientes e pode fazer parte de um conjunto de estratégias que visam reduzir a dependência externa desses produtos, aumentando a resiliência e a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

O objetivo dessa publicação é apresentar o Sistema ReAqua, suas principais características e seu potencial uso para o atendimento a comunidades rurais e isoladas e para o reuso agrícola irrestrito para irrigação.

## 2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O Sistema ReAqua é constituído por duas etapas, sendo a primeira o processo de tratamento de esgoto (ETE) (Figura 1 e 2) e a segunda o sistema agrícola de produção de hortaliças (Figura 2) que utiliza o efluente final do sistema (água de reuso) para irrigação agrícola. A declividade mantida entre cada reservatório utilizado para montagem da ETE ser de no máximo 0,5 %. Na sequência são descritas as etapas do sistema.

Figura 1 – Esquema representativo da etapa de tratamento de esgoto do Sistema ReAqua.

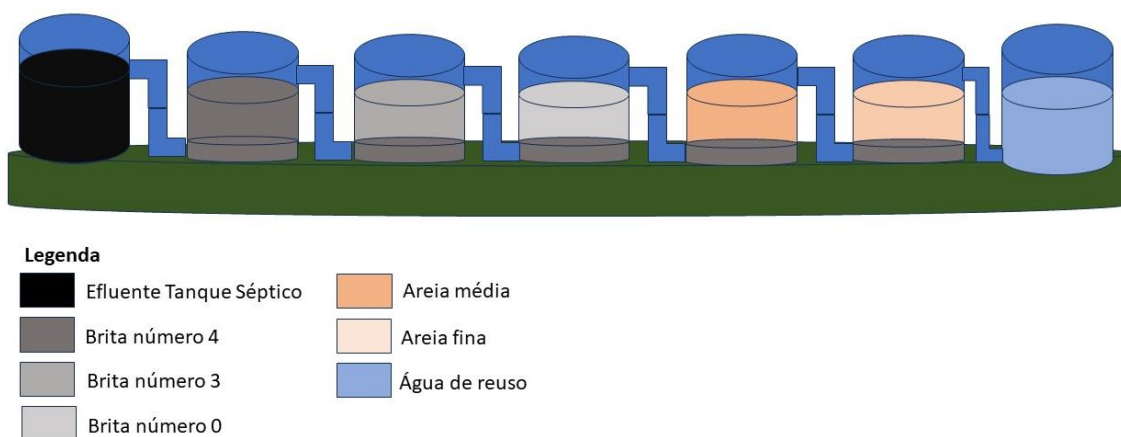
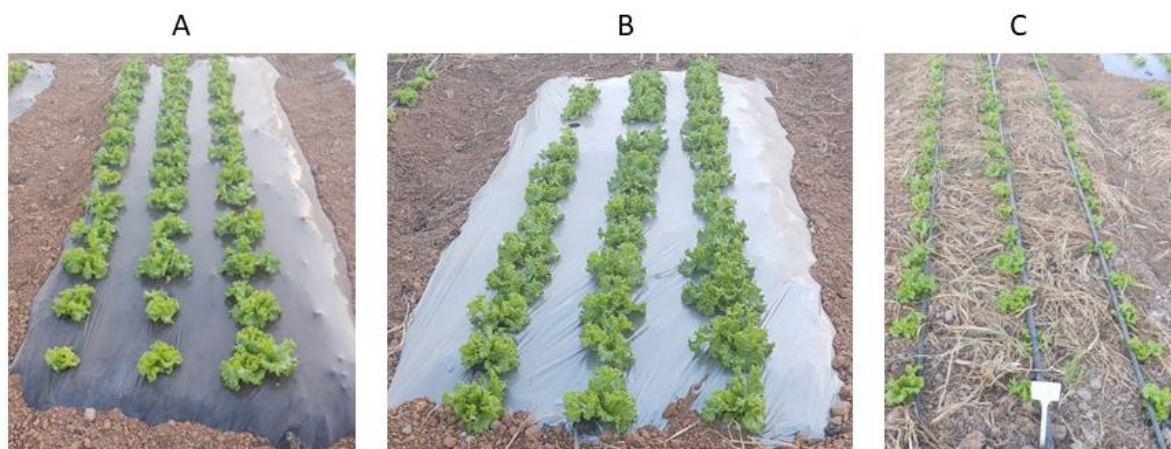


Figura 2 – Protótipo do Sistema ReAqua para atendimento a cerca de 300 pessoas funcionando em condições operacionais (TRL/MRL 6) na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF (Etapa de tratamento de esgoto).



Figura 3 – Protótipo do Sistema ReAqua para atendimento a cerca de 300 pessoas funcionando em condições operacionais (TRL/MRL 6) na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF (Etapa de reuso agrícola).



## 2.1 ETAPA 1 - ETE DO SISTEMA REAQUA, COMPOSTA PELAS SEGUINTE FASES:

**Fase 1** – Tratamento preliminar composto por caixa de gordura, gradeamento e desarenador.

**Fase 2** - Tratamento secundário composto por conjunto Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio com volumes dimensionados segundo as normas NBR 7229 e NBR 13969, recentemente atualizadas pela NBR 17076/2024. Esse conjunto é montado em uma sequência de Tanque e Caixa d'água de Polietileno ou de Fibra de Vidro para armazenamento de água, disponível no mercado de construção civil. É importante que tais reservatórios tenham proteção contra radiação UV visando ao aumento da vida útil. O fluxo hidráulico utilizado é sempre ascendente, com a entrada do afluente a cada etapa na base do tanque ou da caixa e saída do efluente na parte superior dos reservatórios. Ao tanque ainda são adicionados eletrodutos corrugados (conduítes),  $\frac{3}{4}$  de diâmetro, devidamente cortados de modo a se obter unidades com cerca de 4 cm a 5 cm de comprimento. A adição dos eletrodutos tem como função atuar como meio suporte para crescimento da biomassa microbiana, aumentando a área específica disponível para degradação da carga orgânica. No topo da caixa são adicionadas seis barras de tubulação de PVC com diâmetro de 25 mm e comprimento de 50 cm para servir como “suspiro” para eliminação de gases produzidos durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica presente no esgoto sanitário. Tais gases podem ainda ser aproveitados para fins energéticos como, por exemplo, a geração de gás utilizado para cozimento de alimentos. As aberturas superiores desses “suspiros” são fechadas com telas de mosquiteiro e tela sombrite para impedir a entrada de moscas e mosquitos, reduzindo a chance de propagação de doenças como, por exemplo, a dengue. Na parte inferior do tanque, bem como de todas as caixas d'água, são instalados registros de 50 mm ou 100 mm de diâmetro para facilitar a retirada do lodo, bem como a limpeza dos filtros. O meio suporte utilizado nos filtros anaeróbios é a pedra britada de número 4, distribuído internamente por todo o diâmetro e altura entre 0,80 m e 1,20



m, perfazendo, no máximo, 2/3 do volume da caixa d'água utilizada para servir como tal processo unitário. O reservatório que funciona como tanque séptico deve receber, quando do início da operação, inoculação por meio da adição de lodo de tanques sépticos em operação e, após dez dias, cerca de 1% em relação ao volume do reservatório de microrganismos eficientes (EM) ou de bioinsumos que os contenha como, por exemplo, aquele denominado Hortbio (Fontenelle et al., 2018).

**Fase 3** – Etapa que foi denominada de filtração múltipla com dificuldade crescente, composta pela seguinte sequência: filtro de brita 3 + filtro de brita 0 + filtro de areia média + filtro de areia fina. O preenchimento das caixas d'água de polietileno que serão utilizadas como filtros se dá da seguinte forma, no sentido da base para a parte superior: camada de pedra britada número 4 com 40 cm de espessura, duas camadas de manta geotêxtil do tipo Bidim e 0,80 cm a 1,20 m do leito filtrante utilizado para aquela etapa do processo de tratamento (brita 3, brita 0, areia média ou areia fina, respectivamente). A taxa de aplicação superficial máxima utilizada é de  $12 \text{ m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . O leito filtrante, incluindo o fundo de pedra britada de número 4, não deve ocupar mais que 2/3 do volume total do reservatório. A limpeza dos filtros é sempre feita no sentido contrário do fluxo do efluente, ou seja, descendente. Para tal utiliza-se, após abertura da caixa d'água em que o meio filtrante foi instalado, uma lavadora de alta pressão cobrindo toda a área superficial superior ou o processo de hidrojateamento. O efluente resultante do processo de limpeza deve ser destinado a sumidouros ou para leitos de secagem.

**Fase 4** – Esta etapa consiste na desinfecção por cloro. Para tal, podem ser utilizados são utilizados cloradores comumente utilizados para desinfecção de água para abastecimento extraída de poços artesianos instalados na linha de fluxo de água (no encanamento) após o filtro de areia. Outra possibilidade de simples aplicação é o uso de cloradores flutuantes normalmente utilizados para desinfecção de piscinas, instalados no reservatório de água de reuso. Recomenda-se o uso dos seguintes princípios ativos, já testados, tendo apresentado bom desempenho tanto para a desinfecção quanto para o reuso agrícola para irrigação de hortaliças: Tricloro-s-triazina-triona (nome usual – Ácido tricloroisocianúrico) e Dicloro-s-triazinatriona de sódio (nome usual – Dicloroisocianurato de sódio), ambos recomendados pela norma ABNT NBR 15784/2017 para uso em tratamento de águas para consumo humano. A pastilha deve ser trocada sempre que apresentar desgaste expressivo ou quando os resultados das análises microbiológicas assim o indicarem. Entretanto, recomenda-se a avaliação *in loco* de modo a manter teor mínimo de cloro livre na água de reuso de, no mínimo, 1 mg/L.

## 2.2 ETAPA 2 - REUSO AGRÍCOLA PARA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

O reuso agrícola do efluente final do tratamento deve, preferencialmente, ser conduzido seguindo um conjunto de boas práticas agrícolas. Tal conjunto tem como objetivo permitir que o reuso do efluente final do Sistema ReAqua seja realizado de maneira segura, mantendo índices de contaminação microbiológica dentro dos limites legais, bem como proporcionar uma boa produtividade. Cabe mencionar que a planta modelo utilizada para determinar tais conjuntos de boas práticas agrícolas foi a alface (*Lactuca sativa* L.) em três ciclos de produção sendo o primeiro conduzido com alface do tipo crespa, o segundo com alface do tipo lisa e o terceiro com alface do tipo crespa roxa. Adicionalmente, as recomendações também foram baseadas nos resultados obtidos por Pilon et al. (2019). A Figura 4 mostra as alfaces em ciclo final de produção utilizando irrigação com água de reúso.

Figura 4 – Aspecto visual de alface crespa irrigadas com água de reuso utilizada para irrigação (Fase agrícola do Sistema ReAqua).



Abaixo segue o conjunto de boas práticas sugerido:

1. Aplicação da água de reuso deve, preferencialmente, ser realizada por meio do uso de irrigação localizada por gotejamento ou outro sistema que impeça o contato da parte comestível da planta;
2. Recomenda-se a utilização de cobertura do solo por meio do uso de cobertura plástica (mulching) ou de palhadas de resíduos vegetais (ou mulching vegetal);
3. Quando do uso da irrigação localizada por gotejamento, deve-se instalar a mangueira embaixo da cobertura plástica da palhada;

4. Deve-se evitar a semeadura ou o transplante das mudas em períodos de extremos climáticos (calor ou frio extremos);

5. Deve ser evitado o uso de água de reuso para irrigação quando a Condutividade Elétrica (CE) for superior a 3 dS/m;

6. Também deve ser avaliada a viabilidade de uso quando os teores de Na e a saturação por Na estiverem com valores muito elevados. Essa informação é relevante sobretudo para áreas que apresentam expressivo déficit hídrico e onde os solos já experimentam processo natural ou antrópico de salinização como, por exemplo, no semiárido brasileiro. Para tal, sugere-se a consulta dos valores definidos para água de irrigação propostos por Ayers & Westcot (1987);

7. Deve-se atentar para as recomendações fitotécnicas para o cultivo da espécie vegetal que estiver sendo utilizada. Adicionalmente, o reuso de água para irrigação deve ser adotado sem prejuízo do uso de outras práticas e processos de manejo e conservação de solo e água recomendados para cada situação;

8. A fertilização das plantas, bem como a correção do solo, deve ser realizada seguindo-se as recomendações para adubação descritas para a localização onde o sistema produtivo será instalado. As quantidades de fertilizantes e corretivos utilizadas devem ser ainda definidas considerando-se as concentrações já existentes na água de irrigação, como forma de reduzir os impactos ambientais negativos. No piloto desenvolvido as maiores concentrações na água de reuso foram encontradas para N, P, S e Ca. Entretanto, as características da água de reuso dependem das características do esgoto sanitário afluente ao sistema de tratamento e, portanto, para cada caso, esta deve ser monitorada com frequência, a depender das exigências legais. Caso não existam instrumentos legais que regulamentem a frequência da realização de análises, sugere-se que estas sejam realizadas pelo menos uma vez a cada mês. Pode-se utilizar equipamentos portáteis para que o monitoramento seja realizado mais facilmente.

9. Para concepção do Sistema ReAqua foram utilizados como objetivo de qualidade da água a ser alcançado aqueles definidos pelo Regulamento (UE) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de maio de 2020 para reuso agrícola irrestrito, sendo estes mais restritivos que aqueles definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006), utilizado como referência para a maior parte dos sistemas de tratamento de esgoto e reuso atualmente disponíveis no Brasil, com o intuito de aumentar a segurança microbiológica do alimento produzido e que, por ventura, seja consumido cru;

10. Em caso de existência de regulamentação em nível de unidade da federação ou de município, os parâmetros de qualidade de água para reuso agrícola nelas definidos devem ser seguidos.

### 3 EFICIÊNCIA DO SISTEMA E NÍVEIS DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE REÚSO

O Sistema ReAqua foi desenvolvido com base nas recomendações mínimas do Regulamento do Parlamento Europeu número 724 de 2020. Em ensaios conduzidos durante 42 meses de operação utilizando um protótipo operando em escala real, apresentou efluente com qualidade compatível para uso do efluente final no reuso agrícola irrestrito. Na sequência são apresentados os principais resultados.

Na Figura 5 ser observado o aspecto visual do esgoto sanitário afluente à etapa de tratamento de esgoto do protótipo instalado na Embrapa Hortaliças. Na Figura 6, por sua vez, são apresentados os aspectos visuais de amostras do efluente no Tanque Séptico e após o tratamento completo (efluente final ou água de reuso).

Figura 5 – Aspecto visual do esgoto sanitário afluente à etapa de tratamento de esgoto do protótipo instalado na Embrapa Hortaliças.



Figura 6 – Imagem de amostra de efluente coletada no Tanque Séptico (à direita) e da água de reuso (à esquerda) produzida pelo Sistema ReAqua.



Na Tabela 1 estão descritos os principais resultados (valores médios) referentes à remoção de carga orgânica mensurados no esgoto sanitário afluente e na água de reuso da fase de tratamento de esgoto do protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças (Brasília – DF). Já na Tabela 2 são encontrados os valores de coliformes totais e de E. Coli determinados nas diferentes etapas do tratamento. Por fim, a Tabela 3 traz os valores médios destes mesmos microrganismos indicadores determinados em 10 semanas sequenciais.

Tabela 1 – Caracterização do esgoto sanitário afluente à fase de tratamento de esgoto e na água de reuso (efluente final) da fase de tratamento de esgoto de um protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças, Brasília - DF. Valores médios após três anos de monitoramento.

	pH	OD	Cor	Turbidez	DBO <sub>5,20</sub>	CE
		mg/L	µH	UNT	mg/L	dS/m
Esgoto sanitário	7,74	2,8	708,5	177	540	1,15
Água de reuso	7,37	5,6	22	<7 <sup>^</sup>	2,5	1,02

pH – Potencial Hidrogeniônico; OD – Oxigênio Dissolvido; DBO<sub>5,20</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio; CE – Condutividade Elétrica. <sup>^</sup>Limite de detecção do equipamento.

Tabela 2 – Concentração de Coliformes Totais e de E. Coli determinados em diferentes etapas do tratamento determinados em amostras de efluentes da fase de tratamento de esgoto sanitário de um protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF.

	TS	FA	FB3	FB0	FAM	FAF	CLO	EF
	UFC/100 mL							%
CT	$7,7 \times 10^4$	$1,1 \times 10^3$	38	21	2	1	0	100
E. Coli	$3,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^3$	34	22	2	0	0	100

CT – Coliformes Totais; E. Coli – Escherichia Coli; TS – Tanque Séptica; FA – Filtro Anaeróbio; FB3 – Filtro de Brita 3; FB0 – Filtro de Brita 0; FAM – Filtro de Areia Média; FAF – Filtro de Areia Fina; CLO – Após cloração; EF – Eficiência.

Tabela 3 – Monitoramento das concentrações de Coliformes Totais e de E. Coli por dez semanas consecutivas mantidas em amostras da água de reuso (efluente final) da fase de tratamento de esgoto sanitário de um protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	UFC/100 mL									
CT	3	4	15	15*	8	8	0	0	0	0
E. Coli.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\*Realizada limpeza dos filtros de areia.

A elevada eficiência de remoção de carga orgânica e de contaminantes microbiológicos fica claro a partir dos resultados anteriormente descritos. Os valores de  $DBO_{5,20}$ , e de E. Coli atendem aos limites estabelecidos pela Resolução 724 de 2020 do Parlamento Europeu ( $\leq 10$  mg/L e  $\leq 10$  UFC/100 mL, respectivamente) para reuso agrícola irrestrito. A mesma resolução define o padrão de  $\leq 5$  UNT para este tipo de reuso. Embora os valores determinados em amostras da água de reuso da fase de tratamento de esgoto do protótipo do Sistema ReAqua estejam descritos como  $<7$  UNT, sendo esse o limite de detecção do equipamento disponível, é provável, em razão das características visuais das amostras utilizadas e dos outros resultados analíticos determinados, que esses valores estejam dentro dos limites estabelecidos pela referida resolução ( $\leq 5$  UNT).

A Tabela 4 apresenta as concentrações médias de alguns elementos-traço na água de reuso oriundas da etapa de tratamento de esgoto sanitário do Sistema ReAqua. Tais resultados, em conjunto com aqueles obtidos pelas análises microbiológicas e pelas outras análises químicas e físico-químicas anteriormente mostradas, apontam para existência de uma boa margem de segurança da prática do reuso de água no Sistema ReAqua para a irrigação agrícola irrestrita.

Tabela 4 – Concentrações médias de elementos-traço determinadas na água de reuso de um protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças, Brasília - DF. Valores médios após três anos de monitoramento.

	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Fe (mg/L)
Média	0,061	0	0,009	0,052
Mediana	0,027	0	0,009	0,072
DP	0,06	0	0,010	0
IC	0,009	0	0,003	0,023
LS	0,052	0	0,012	0,029
LI	0,069	0	0,006	0,075

Legenda: DP – Desvio Padrão; IC – Intervalo de Confiança; LS – Limite Superior; LI – Limite Inferior

Na Tabela 5 podem ser observados os valores médios das concentrações das formas nitrogenadas, de fosfato, de sulfato e de cálcio. Os valores obtidos correspondem a uma disponibilização anual dos quantitativos dispostos na Tabela 6.

Tabela 5 - Valores médios, mediana, desvio padrão, intervalo de confiança e limites superior e inferior de Condutividade Elétrica (CE); N-NH<sub>3</sub>; N-NO<sub>2</sub>; N-NO<sub>3</sub>; SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>; PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e Ca<sup>2+</sup> determinados em amostras de água de reuso de um protótipo do Sistema ReAqua instalado na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF. Valores médios após três anos de monitoramento.

	CE	N-NH <sub>3</sub> *	N-NO <sub>2</sub> *	N-NO <sub>3</sub> *	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	µS/cm	mg/L					
Média	1017,84	25,38	26,78	136,36	25,90	14,43	86,53
Mediana	1037,92	20,6	22,00	136,90	25,00	14,80	86,00
DP	250,75	15,69	26,81	62,80	4,96	4,47	8,07
IC	88,72	5,35	9,15	21,76	1,75	1,63	2,84
LS	1106,11	30,73	35,96	158,12	27,65	16,06	89,37
LI	929,57	20,02	17,63	114,60	24,16	12,81	83,69

Legenda: DP – Desvio Padrão; IC – Intervalo de Confiança; LS – Limite Superior; LI – Limite Inferior; N-NH<sub>3</sub> – Nitrogênio Amoniacal; N-NO<sub>2</sub> – Nitrogênio Nitrito; N-NO<sub>3</sub> -Nitrogênio Nitrato; SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – Sulfato; PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> – Fosfato; Ca<sup>2+</sup> - Cálcio; CE – Condutividade Elétrica.

\*O uso princípios ativos nitrogenados para a desinfecção do efluente final pode ter influenciado nas maiores concentrações de formas nitrogenadas comparativamente aqueles valores normalmente observados na literatura.

Tabela 6 - Carga anual de N-NH<sub>3</sub>; N-NO<sub>2</sub>; N-NO<sub>3</sub>; SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>; PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e Ca<sup>2+</sup> determinada na água de reuso do Sistema ReAqua operando em condições reais na Embrapa Hortaliças, Brasília, DF. Valores médios após três anos de monitoramento.

	Carga anual
	kg/ano
N-NH <sub>3</sub>	185,26
N-NO <sub>2</sub>	195,47
N-NO <sub>3</sub>	995,44
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	189,09
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	105,36
Ca <sup>2+</sup>	631,69

Fica claro, portanto, que além do uso seguro como fonte alternativa de água para irrigação, o reuso de água proporcionado pelo Sistema ReAqua também constitui relevante fonte de nutrientes para a agricultura. Trata-se, portanto, de uma importante estratégia para reduzir a dependência externa de fertilizantes e se enquadra nos princípios da bioeconomia e da economia circular.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstrados foram conseguidos em nível de prototipagem, durante a condução de experimentos realizados na Embrapa Hortaliças, Brasília – DF. O primeiro piloto do Sistema ReAqua que operará em escala real está sendo implementado pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará, em parceria com a Embrapa Hortaliças e o Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura (IICA) em um assentamento de reforma agrária no município de Monsenhor Tabosa – CE. A unidade atenderá 110 famílias, tratando o esgoto sanitário gerado e disponibilizando água de reuso para atividades agrícolas. A partir dessa unidade será possível avançar no nível de maturidade do ativo tecnológico para escala TRL/MRL 7 e 8, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos e configurando estratégias de operação do sistema. Além disso, garantirá melhor qualidade de vida, levando tratamento de esgoto e gerando água de reuso para população anteriormente não atendida por esses serviços, resultando em melhor saúde pública e segurança alimentar e nutricional.



## REFERÊNCIAS

ANDA. Pesquisa setorial: macro indicadores. 2024. Disponível em: [https://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://anda.org.br/pesquisa_setorial/). Acesso em: 20 jun. 2024.

COSTA, L. M. F.; DIAS, I. D.; COSTA, J. G. F.; FILIPPO, S.; ALENCAR, P. C. D. Análise construtiva e estimativa de custo de bacia de evapotranspiração no Distrito Federal. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2019, 5 p., Palmas – TO.

DIEP, L.; MARTINS, F. P.; CAMPOS, L. C.; HOFMANN, P.; TOMEI, J.; LAKHANPAUL, M.; PARIDH, P. Linkages between sanitation and the sustainable development goals: a case study of Brazil. *Sustainable Development*, v. 29, p. 339-352, 2021.

EMBRAPA. Fossa Séptica Biodigestora. 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7413/fossa-septica-biodigestora>. Acesso em: 18 jun. 2023.

FONTENELLE, M. R.; LIMA, C. E. P.; BOMFIM, C. A.; ZANDONADI, D. B.; BRAGA, M. B.; PILON, L.; MACHADO, E. R.; RESENDE, F. V. Biofertilizante Hortbio®: propriedades agronômicas e instruções para o uso. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2018. (Circular Técnica (ISSN 1415-3033) 162).

IPCC. AR 6 Synthesis Report: Climate Change 2023 - Summary for Policymakers. IPCC, 2023. 36 p.

KATZ, B. G.; GRIFFIN, D. W.; MCMAHON, P. B.; HARDEN, H. S.; HICKS, E. W. R.; CHANTON, J. R. P. Fate of Effluent-Borne contaminants beneath septic tank drainfields overlying a karst aquifer. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, p. 1181-1195, 2010.

LIXIL. The true costs of poor sanitation. 2016. Disponível em: [https://www.lixil.com/en/impact/sanitation/pdf/white\\_paper\\_en\\_cc\\_2016.pdf](https://www.lixil.com/en/impact/sanitation/pdf/white_paper_en_cc_2016.pdf). Acesso em: 20 jun. 2024.

MAYER, M. C.; BARBOSA, R. A.; LAMBAIS, J. R.; MEDEIROS, S. de S.; VAN HAANDEL, A. C.; SANTOS, S. L. dos. Tecnologia de tratamento de esgoto: uma alternativa de saneamento básico rural e produção de água para reuso agrícola no Semiárido Brasileiro. In: Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil, p. 103-112, 2020.

OMS. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. V. 2, Wastewater Use in Agriculture. OMS, 2006.

OMS. Sanitation. 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PIERONI, J. P.; RODRIGUES BRANCO, K. G.; INACHVILI, I.; FERREIRA, G. C. Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub-bacia hidrográfica do Córrego Água Limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de Pratápolis, Minas Gerais. *Geociências*, v. 34, n. 3, p. 402-410, 2015.

PILON, L.; GINANI, V. C.; FONTENELLE, M. R.; LIMA, C. E. P.; BRAGA, M. B.; ZANDONADI, D. B. Qualidade microbiológica de alface irrigado por gotejamento com fertilizantes orgânico e mineral. Brasília: Comitê Local de Publicações da Embrapa Hortaliças, 2019. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (ISSN 1677-2229) 179).

PNSR. Programa Nacional de Saneamento Rural. Brasília: FUNASA, 266 p., 2019.

REIS, M. C. G.; BORGES, A. C.; DA CUNHA, F. F.; DA SILVA, R. R. Evapotranspiration beds as zero-discharge nature-based solution for wastewater disposal: A review. *Ecological Engineering*, v. 189, p. 106896, 2023.

RUSCA, M.; ALDA-VIDAL, C.; KOOY, M. Sanitation Justice? The multiple dimensions of urban sanitation inequalities in Water Justice. In: SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. *Chemistry of the Environment*, Cambridge, 2017.

SALLA, M. R.; SÁ, E.; FERREIRA, P. A. S. C.; MELO, N. A. M. Relação entre saneamento básico e saúde pública em Bissau, Guiné-Bissau. *Saúde e Sociedade*, v. 28, n. 4, p. 284-296, 2019.

TRATA BRASIL. Esgotômetro. 2023a. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

TRATA BRASIL. Principais estatísticas. 2023b. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

VIANNA, T. C.; MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P. Panorama do emprego de tanques sépticos e filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de efluentes no Sudeste Brasileiro. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p. 16, 2019.