

Recebido: 06/07/2023 | Revisado: 28/09/2023 | Aceito: 24/02/2024 | Publicado: 01/03/2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v12i1.584

Impacto do uso de esgoto doméstico rural tratado em reator UASB e lagoas de polimento em propriedades do solo

Impact of the use of rural domestic sewage treated in UASB reactor and polishing ponds on soil properties

SANTOS, Luís Almeida. Graduação/Engenharia Agrônômica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano -Campus Petrolina Zona Rural. Rodovia PE-647, Km 22, PISNC N -4, Zona Rural-Petrolina -PE -Brasil. CEP: 56.302-970 / Telefone: (74) 99971-5151, e-mail: luispiritiba@gmail.com

SOUSA, José Sebastião Costa de. Doutor/Engenharia Agrícola

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano -Campus Petrolina Zona Rural. Rodovia PE-647, Km 22, PISNC N -4, Zona Rural-Petrolina -PE -Brasil. CEP: 56.302-970 / Telefone: (87) 2101-8050, e-mail:sebastiao.costa@ifsertao-pe.edu.br

RESUMO

O tratamento e reúso do efluente doméstico é uma importante estratégia para o aumento da disponibilidade hídrica local, reaproveitamento de nutrientes para o desenvolvimento vegetal e aumento de produtividade, redução da poluição ambiental e promoção de saúde. Neste trabalho foi avaliado o impacto da irrigação ao solo com águas residuárias do sistema de tratamento implantado no Centro de Formação Dom José Rodrigues - CFDJR, pertencente ao Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA, composto por reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e lagoas de polimento. Foram realizadas coletas de água pós-tratamento e de solo nas profundidades de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, para avaliar os impactos químicos e biológicos/sanitários ao solo, causados pelo uso das águas residuárias. Observou-se que durante o período de junho de 2019 a 30 de novembro de 2021 foram reaproveitados 303,24 m³ de água residuais no local do experimento. Das análises de água realizada na saída das lagoas de polimento foram verificadas eficiências médias de tratamento na ordem de 93% para *Escherichia coli*. (E. Coli.), 96% para Coliformes Termotolerantes e ausência de ovos de helminto. Das análises químicas do solo foram observados teores de nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio de 31,4; 67,5; 43,3; 0,9; 1,40 e 54,4 mg L⁻¹, respectivamente, valores consideráveis para a agricultura. Desta forma, o sistema de esgotamento sanitário estudado mostrou-se eficiente no tratamento das águas residuárias domésticas rurais e o efluente gerado usado como produto para fertirrigação não provocou poluição ambiental ao solo.

Palavras-chave: Água residuária, Reúso agrícola, Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Coliforme

ABSTRACT

The treatment and reuse of domestic effluent is an important strategy for increasing local water availability, reusing nutrients for plant development and increasing productivity, reducing environmental pollution and promoting health. In this work, the impact of irrigation on the soil with wastewater from the treatment system implemented in the Dom José Rodrigues Training Center - CFDJR, belonging to the Regional Institute of Small Appropriate Agriculture - IRPAA, composed of a UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) and polishing ponds. Post-treatment water and soil samples were collected at depths of 0 - 20, 20 - 40 and 40 - 60 cm, to assess the chemical and biological/sanitary impacts on the soil caused by the use of wastewater. It was observed that during the period from June 2019 to November 30, 2021, 303.24 m³ of wastewater were reused at the experiment site. From the analysis of the water carried out at the exit of the polishing ponds, average



treatment efficiencies of around 93% were verified for *Escherichia coli*. (*E. Coli.*), 96% for Thermotolerant Coliforms and absence of helminth eggs. From the chemical analyzes of the soil, contents of total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium of 31.4; 67.5; 43.3; 0.9; 1.40 and 54.4 mg L⁻¹, respectively, considerable values for agriculture. Thus, the sanitary sewage system studied proved to be efficient in the treatment of rural domestic wastewater and the generated effluent used as a product for fertigation did not cause environmental pollution to the soil.

Keywords: Wastewater, Agricultural reuse, Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Coliforms

Introdução

O reúso agrícola com efluentes doméstico devidamente tratados está inserido no escopo do Saneamento Básico, que tem como objetivos: o abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; coleta, tratamento e destinação correta do resíduo sólido e, drenagem de água de chuva (ANA, 2020).

Embora a disponibilidade de abastecimento de água e o esgotamento sanitário tenha aumentado seu percentual nos últimos anos, a ineficiência e a desigualdade do atendimento aos serviços de saneamento básico é um campo para ação de políticas públicas de saúde, entre outras (MASSA e CHIAVEGATTO FILHO, 2021). Em vista a importância da água com qualidade e o saneamento básico como uma ação para preservação ambiental e de promoção de saúde, a universalização equânime é condição para sociedade brasileira (MAGALHÃES FILHO e PAULO, 2017).

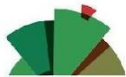
Entretanto é visível a disparidade sobre os serviços de saneamento básico entre rural e urbano, regiões e entre grupos socioeconômicos (RESENDE et al., 2018). Em zonas rurais, devido à complexidade do baixo adensamento e outros fatores que comprometem o desenvolvimento de ações convencionais, o saneamento básico caminha de forma mais lenta que nas cidades (PERONI et al., 2021).

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Rural - PNSR, na zona rural do bioma Caatinga 53,7% dos domicílios utilizam fossas rudimentares e 13,5% não possuem banheiro, o que agrava o risco de contaminação de água e solo. Por outro lado, o que pode agravar ainda mais a situação é que 28,8% da população é abastecida com água de poço ou nascentes dentro ou fora da propriedade o que muitas vezes pode não garantir a segurança ao consumo da água (BRASIL, 2019).

Além disso, falta de manejo e gestão de água, o desmatamento e a poluição afetam a disponibilidade hídrica em diversas partes do mundo. No Semiárido Brasileiro, essa questão ganha maior importância devido às condições climáticas específicas onde as médias pluviométricas variam de 300 a 800 mm anuais, as taxas de evaporação média de 2000 mm ano⁻¹, gerando um balanço hídrico negativo (AB'SABER, 1974).

Considerando também que as mudanças climáticas têm ameaçado a qualidade de vida de milhares de pessoas se apresentando com um dos grandes “desafios globais” (KUMAR; SAROJ, 2014). Nesse sentido, a utilização de fontes alternativas de água é estratégica pois reduz a pressão nos recursos naturais, sendo uma tendência global (NETO et. al., 2012).

Diante das alterações climáticas com escassez e imprevisibilidade do abastecimento de água o setor agrícola já utiliza com maior intensidade as águas residuais como fonte para produção de



alimentos, utilizando diversas tecnologias para o tratamento de efluente (DELANKA-PEDIGEA, 2020).

Segundo FONSCECA (2001) o efluente de esgoto tratado difere da água convencional principalmente na presença da matéria orgânica expressos na demanda biológica de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio, macro e micronutrientes, metais pesados, patógenos, entre outros. A composição típica destas águas é de 99,99% de água e apenas 0,01% de materiais sólidos. Destes, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, lipídeos) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais) (MELO e MARQUES, 2000).

O tratamento, reúso de água doméstico, cumpre o papel na redução do risco de doenças e de poluição. E, por outro lado, fornecem nutrientes para o desenvolvimento das plantas, tais como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre, reduzindo os custos de adubações (FERREIRA et al., 2011).

A aplicação de água de reúso pode ser realizada da mesma forma que a irrigação convencional, entretanto as irrigações por superfície ou gotejamento são as mais recomendadas por reduzir a dispersão de gotículas a contaminação com organismos patogênicos (MARQUES, 2017)

Uma dificuldade evidenciada é a falta de parâmetros claros sobre o reúso de águas no Brasil, a inexistência de uma legislação específica para a produção agrícola dificulta a difusão da prática. Diversos países de mundo já possuem essas normas, tais como Estados Unidos, Austrália, Israel e Japão (JIMÉNEZ; ASANO, 2008).

Neste sentido, a água de reúso agrícola se apresenta como uma estratégia para a não poluição de solo, cursos d'água e águas subterrâneas (SILVA, 2021) e a reciclagem de nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas (MELO, 2018), sendo um potencial importante para o equilíbrio ambiental e a produção de alimentos de forma saudável.

Reúso Agrícola e Saneamento Básico Rural

O Saneamento Rural é um dos três componentes do Plano Nacional de Saneamento Básico - PLAN SAB, sob coordenação do Ministério das Cidades por determinação da Lei de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007). O Plano prevê ainda programas de saneamento básico integrado (saneamento urbano) e de saneamento estruturante, com uma visão territorial e populacional, visando a sustentabilidade. Outros objetivos do plano são a promoção de saúde, a sustentabilidade ambiental, qualidade devida e de cidadania, entendendo que o saneamento básico é um Direito Humano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

O lançamento de esgoto sem tratamento prévio em corpos hídricos, provocam diversas perturbações diretas e indiretas ao meio ambiente, alterando suas características físicas, químicas e biológicas. A matéria orgânica contida nesses efluentes são, em partes, responsáveis pelas alterações nos ecossistemas aquáticos. Nesse sentido, a remoção dessa matéria orgânica, em conjunto a outros critérios, é um dos principais objetivos do tratamento (BATISTA, 2015). Esses efluentes também podem contaminar o ambiente com bactérias, helmintos (vermes), protozoários e vírus que geram graves problemas de saúde (MERCALF e EDDY, 2003).

Existem diversos tipos de sistemas de tratamento de esgoto, entretanto, a partir da década de

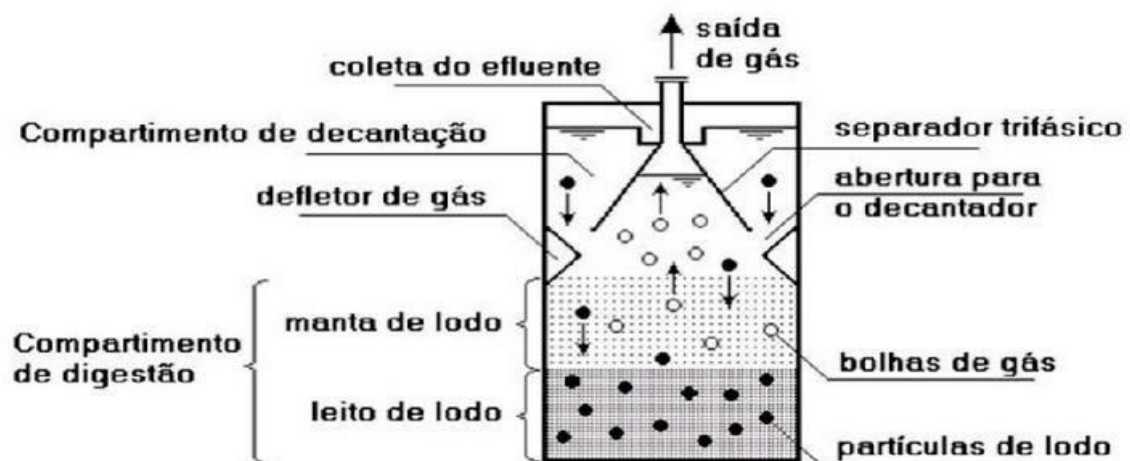
1970 o reator UASB passou a ser uma das tecnologias mais reconhecidas principalmente em países com pouco recursos e clima quente (KHAN et. al., 2011). Algumas características desses sistemas são: baixo custo de implantação, produção de biogás, facilidade de operação, pequena demanda de área e baixa produção de lodo (VAN HAANDEL E LETINGA, 1994; CHERNICHARO, 2007).

Segundo Campos (1986) o reator Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB pode ser descrito como:

O reator UASB pode ser descrito resumidamente como um sistema com características em termos de design, arranque e desempenho. Fisicamente, o sistema é bastante simples e consiste em uma entrada para o substrato distribuição, uma câmara na qual todas as reações ocorrem e qual pode ter um misturador ou não, e no topo um separador trifásico (TPS), que separa as partículas sólidas do líquido e do gás, permitindo a os dois últimos a deixar o sistema. O substrato neste sistema passa primeiro através de um leito de lodo (contendo uma biomassa de alta concentração) este pode ser granulado ou floculante, então passa por um meio menos denso biomassa, chamada de manta, e no topo do reator, antes do efluente é descarregado, o TPS separa o líquido, sólido e gás frações.

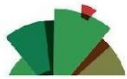
O reator UASB é composto por compartimento de digestão onde se divide em leito de lodo e manta de lodo; zona de decantação, onde se encontra o defletor de gás e, por último a separação trifásica, localizada na parte alta do reator, onde os gases são eliminados, os sólidos grosseiros retidos e o líquido irá para outra etapa do tratamento. Na Figura 1 encontram-se as partes constituintes do Reator UASB.

Figura 1 - Reator UASB - funcionamento e partes constituintes.



Fonte: CHERNICHARO (2007).

A concentração de biomassa, na forma de matéria orgânica, é bastante alta no interior do reator UASB, o que se justifica o nome manta de lodo (VON SPERLING, 1996). Esse compartimento de digestão se divide em leito de lodo, localizado abaixo do reator e é bastante concentrado, se forma após alguns meses de operação e sua concentração de lodo máxima varia ente 5 e 10% (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Já a manta de lodo fica acima do leito de lodo, sendo material mais disperso e



com velocidade de sedimentação mais baixas, a concentração de lodo varia entre 1,5 e 3% (CHERCHINARO, 1999).

A descarga do lodo é realizada quando ocorrer o excesso desse material, preferencialmente na região da parte da manta do lodo, por ser um material mais flocofento (NOYOLA, 1994; CHERCHINARO, 1999).

Nesse sentido, LETTINGA et al. (1980) citado por CARMO JUNIOR (1998), comentam que as ideias básicas no conceito do reator UASB são que o lodo anaeróbico adquire e mantém propriedade de sedimentabilidade muito boas, desde que se tenha condições físicas e químicas favoráveis à floculação e manutenção desse estado. A manta de lodo é uma fase semifluida separada, quando bem estabelecida forma uma fase frequentemente estável para suportar forças de misturas, o que diz que para haver redispersão de lodo na fase líquida é preciso a aplicação de quantidade significativa de energia para mistura.

Como resultado da ação biológica, existe a produção de gases, principalmente o metano (FORESTI et al., 1999). Os defletores de gases funcionam para desviar bolhas de ar que venham a se formar abaixo do separador de fases, podendo causar uma turbulência na zona de decantação (VAN HANDEL e MARAIS, 1999).

Com o tratamento do reator UASB, comumente, consegue-se reduções de 65 a 80% da concentração do material orgânico (VAN HANDEL e LETTINGA, 1994). Já a remoção organismos patogênicos com o reator UASB sucedido por lagoas de polimento alcançam a remoção de até 99,9999% de coliformes fecais (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Essa eficiência com as lagoas de polimento pode ser explicada pela predominância de condições adversas, a exemplo de: radiação solar, valores altos de pH, maior temperatura, altas concentração de oxigênio dissolvido e presença de algas. (PEARSON et. al., 2009; MOREIRA et. al., 2009). Essa questão é reforçada por RIOS (2007) ao afirmar que as bactérias e vírus são removidos ou inativados por raios solares (especialmente a radiação ultravioleta).

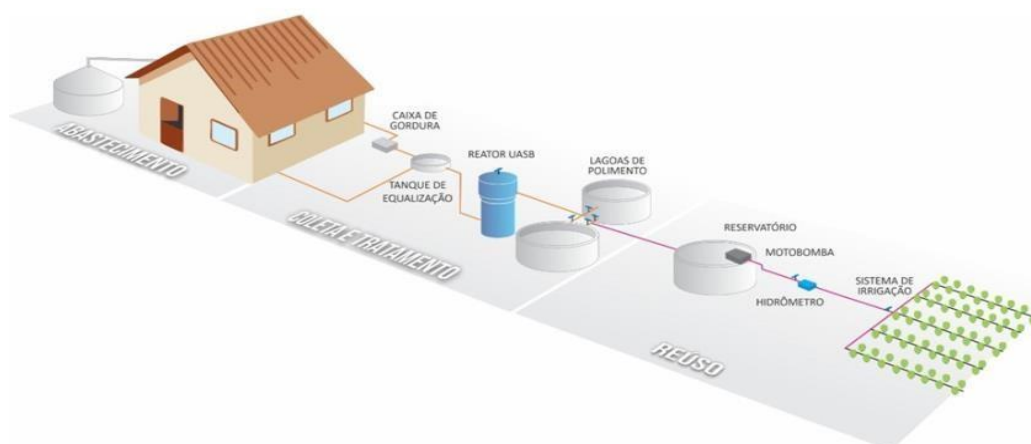
MAYER, et. al (2020) e CEPAL (2020) apresentam os seguintes componentes do sistema de tratamento de esgoto contendo reator UASB: caixa de gordura, tanque de equalização, Reator UASB e lagoas de polimento. Detalhamento dos processos de tratamento podem ser observadas na Tabela 1.

O custo de implementação de um sistema de reúso familiar composto por caixa de gordura, tanque de equalização com capacidade para 1.208 L, reator UASB com volume de 250 L e capacidade de tratamento de 1.000 L dia⁻¹, duas lagoas de polimento e um reservatório com base do Índices da Construção Civil - SINAPI em 2019, foi de R\$ 13.432.,00. O retorno financeiro do sistema ocorre nos primeiros anos de operação do sistema (CEPAL, 2020). Na Figura 1 encontra-se ilustrado o sistema supracitado.

Tabela 1 - Estrutura básica do sistema de tratamento de esgoto contendo Reator UASB.

Unidades	Funções	Resultados esperados
Caixa de gordura	Retenção de óleos e graxas	Efluente com baixa concentração de óleos e graxas
Tanque de Equalização	Amortização da carga hidráulica ao reator UASB e remoção de sólidos suspensos	Efluente com menor concentração de sólidos e turbidez
Reator UASB	Remoção da matéria orgânica	Efluente com menor concentração de matéria orgânica
Lagoa de Polimento	Desinfecção	Efluente com baixa concentração de patógenos

Fonte: MAYER, et. al (2020) e CEPAL (2020).

Figura 2 - Ilustração de um sistema de tratamento de esgoto doméstico usando reator UASB e reaproveitamento das águas residuárias.

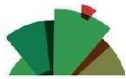
Fonte: MEYER et al. (2020).

Diversos trabalhos científicos destacam a aplicabilidade do reator UASB no tratamento de esgotos, a citar CALIJURI et. al (2009) que verificaram remoções de DBO, DQO e sólidos em suspensão total - SST, da ordem de 74 - 84%, 69 a 75% e 76% respectivamente. Reduções de elementos que causam eutrofização de corpos hídricos, tais como 15% de fósforo e conversão de parte do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal, em média 40%. E remoção de 87% de coliformes totais e 67% de *E. coli*. Os autores ainda destacam que “Mesmo o reator UASB apresentando elevada eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos, confirma-se a necessidade do polimento de seu efluente”.

Ao comparar dois sistemas de tratamentos, convencional com lagoa de estabilização e reator UASB seguido de lagoas de polimento, LUCAS et. al. (2019) observaram os melhores resultados para o tratamento com o reator UASB, com necessitar de menor área e qualidade final do efluente igual ou superior com menor tempo de detenção hidráulica e maior remoção de nutrientes.

Uma questão importante na discussão sobre reúso agrícola no Brasil, é a falta de uma diretriz. Pode-se ter referências em dados da Organização Mundial da Saúde

- OMS, segundo WHO (1989):

**Tabela 2** - Classificação de água de reúso e as condições para irrigação, WHO (1989).

Categoria	Condições de Reúso	Grupo exposto	Ovos de helminto/L	CF/100mL
A	Irrigação de culturas que são consumidas cruas, campos de esporte e parques públicos	Trabalhadores, consumidores, público	≤ 1	≤1000
B	Irrigação de culturas não consumidas cruas como cereais, para indústria, pasto forragem e árvores	Trabalhadores	≤ 1	Não se recomenda
C	Irrigação de culturas da categoria B se o público e os trabalhadores não ficam expostos	Nenhum	Não se aplica	Não se recomenda

Segundo o PROSAB (2006), as diretrizes para reúso agrícola para coliformes totais para irrigação de uso restrito varia de 1×10^4 NMP/100mL para culturas não são consumidas cruas e, com valor de 1×10^5 NMP/100mL para culturas que não são consumidas cruas mas com o uso de barreiras adicionais e equipamentos de proteção individuais e ovos de helminto ≤ 1 ovo/L. Esses dados diferem do que é apresentado pela United States Environmental Protection Agency - USEPA, órgão de proteção ambiental dos Estados Unidos, têm-se como referência o valor de ≤ 200 NMP/100mL.

Outros valores também são encontrados na literatura, o que mostra a demanda por avanços nas referências e padrões para o reúso agrícola com efluentes tratados.

Material e métodos

A área do estudo está localizada no Centro de Formação Dom José Rodrigues - CFDJR (Figura 3), pertencente ao Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA, localizado a 12 quilômetros da sede de Juazeiro/Ba, à margem do Riacho Tourão. A localização geográfica é $9^{\circ}26'48.19''$ Sul, $40^{\circ}25'16.52''$ oeste e altitude média de 371 metros.

Figura 3 - Vista aérea do Centro de Formação Dom José Rodrigues - CFDJR do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA em Juazeiro-BA. (A) Casas de Moradores do CFDJR; (B) localização dos componentes do sistema de tratamento; (C) área de reúso.



O solo predominante na propriedade é o Cambissolo e a vegetação predominante é a caatinga hiperxerofila de várzea relevo plano (FERREIRA et al., 2008). O sistema de tratamento de esgoto estudado é composto por Caixa de Gordura, Tanque de Equalização, Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e Lagoas de Polimento, com dimensionamento para uma unidade familiar com capacidade de tratar $1 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$. Após o tratamento, a água era reutilizada para irrigação de forrageiras.

O valor médio para a construção do sistema de tratamento com sistema de irrigação foi de R\$ 4.300,00. Os valores são variáveis de acordo o período e local de construção. Esse custo é do material, o valor médio pago foi de R\$ 1.000,00 por tecnologia com serviço de pedreiro sem encargos sociais contabilizados. A família contribuiu com contrapartida em serviço e alimentação.

Para caracterização da qualidade de água para a irrigação e teste de eficiência do sistema de tratamento foram coletas de água em becker 1.000 mL, e frasco reagente de 2.000 mL e 1.000 mL esterilizados em 2019 (Figura 4).

Para o trabalho em descrição coletou-se efluente na entrada e na saída do sistema de tratamento, tanque de equalização e tanque de reúso, respectivamente.

Figura 4 - Efluentes em cada etapa do processo de tratamento.

Fonte:IRPAA

As amostras de água coletadas foram analisadas no Laboratório de Engenharia Agrícola e Ambiental da Univasf - Campus Juazeiro/Ba, seguindo as metodologias da Tabela 3.

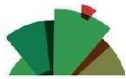
Tabela 3 - Métodos usados para análise dos efluentes.

Variável	Método
DBO e DQO	Titulometria
E. coli	Colilert
Condutividade elétrica	-
pH	Medição direta
Nitrogênio total e amoniacal	Kjeldahl e Titulação
Na, K	Fotometria de chama
Cloretos	Argentométrico

Adaptado de: APHA, 2012

O efluente após tratado é canalizado para uma área de palma forrageira com três variedades diferentes: orelha de elefante (*Opuntia* spp.), palma redonda ou orelha de onça (*Opuntia ficus-indica*) e palma miúda ou doce (*Nopalea cochinilifera*). A área tem o tamanho de 10 por 20 metros, totalizando 200 m². O espaçamento adotado foi 1 metro entre fileiras e 0,25 metros entre cladódios (“raquetes”), o que representa uma densidade de 40.000 mil plantas por hectare. As plantas foram cultivadas desde o mês de julho de 2019, mesmo período de início de funcionamento do sistema de irrigação localizada com gotejador regulável GA-2, sendo realizados corte de colheita com aproximadamente 1 ano e 2 meses de implantadas.

Desta área foram coletados solo para caracterização físico-química nas camadas de 00 - 20; 20 - 40 e 40 - 60 cm. As coletas foram feitas em 15 pontos e uma amostra composta foi enviada para análise em laboratório. As coletas de solo foram realizadas no dia 01/02/2022.



Na Tabela 4 encontram-se apresentadas as metodologias usadas nas análises do solo.

Tabela 4: Metodologias utilizadas para análise de solo

Variável	Método
P, Na, K	Mehlich 1
Ca, Mg	KCl
H + Al	Acetato de Cálcio
C	Oxidação
Ph	H ₂ O
CE	Condutivímetro

Embrapa (1999).

Uma parte da amostra composta também foi direcionada para análise microbiológica do solo. Os parâmetros avaliados foram: coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e *Salmonella*, segundo metodologias da Tabela 5.

Tabela 5 - Métodos adotados para análises microbiológicas do solo.

Variável	Método
Coliformes totais e termotolerantes	ME-PET-LAB 34 ¹
<i>E. coli</i>	
<i>Salmonella</i>	MPL-006 (In. 62 Cap. XV)

¹ Instrução Normativa 46/2001 (MAPA).

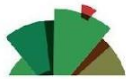
As análises foram realizadas no laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, localizado na cidade de Petrolina - PE.

Resultados e discussão

Após o tratamento com o reator UASB e lagoas de polimento a água residuária enquadrou-se nos critérios nacionais e internacionais para o reuso agrícola (Tabela 6), tornando-se uma estratégia para a produção vegetal.

Tabela 6 - Parâmetros de água de reúso antes e após tratamento.

Parâmetros	Efluente bruto	Efluente pós tratamento	Eficiência de remoção (%)
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	2500	165	93,4
Heterotróficas (UFC/mL)	25	7,5	70
Ovos de Helmineto (ovos/g)	0	0	-
DBO (mg/L)	997	72	93



DQO (mg/L)	760	143	81
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	19	0,1	99,5
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	1333	866	35

Fonte: Arquivos IRPAA

O resultado da DBO de 997 no esgoto bruto é um valor alto, porém inferior ao que foi encontrado por Mayer et. al. (2020) de 1.221. Os autores explicam que com a limitação da disponibilidade de água para os diversos usos no semiárido brasileiro, é comum ter o efluente com uma maior concentração de matéria orgânica e uma coloração mais escurecida.

Essa característica não é parâmetro para o reúso agrícola segundo o PROSAB (2006). Entretanto, segundo recomendações da Resolução 430 de 2011 do CONAMA para a disposição em corpos hídricos, a DBO deve ser menor ou igual a 120 mg L⁻¹, podendo ultrapassar esse valor caso tenha uma eficiência de remoção >60%.

Com relação aos sólidos dissolvidos totais a recomendação da USEPA (2012) e de Almeida (2010) é que seja de < 2.000 mg L⁻¹, o que o sistema em descrição respondeu satisfatoriamente. Em situação de campo, deve-se sempre observar o bom funcionamento do sistema de irrigação para que não comprometa a vida útil da motobomba e o entupimento de fitas/tubulações e gotejadores.

De acordo com valores propostos por WHO 1989, a água tratada com o sistema de reator UASB e lagoas de polimento está dentro dos parâmetros recomendados.

Na Tabela 7, dados da análise química do solo que não recebeu a água de reúso, pode-se observar que os teores de cálcio e magnésio são classificados como alto no solo. Pode-se, contudo, observar também que os valores já se encontram elevados na área sem irrigação sem adição da água de irrigação. Da mesma forma os valores de P, K, MG, Na e CE já eram elevados naturalmente, essas características indicam a presença de minerais primários e pouco intemperismo característico de solo com boa fertilidade, porém, com limitações físicas.

Tabela 7 - Análise química do solo em área não irrigada.

Prof. (cm)	P-Dis Mg.kg ⁻¹	MO Mg/kg	cmol _c kg ⁻¹							pH (1:25) H ₂ O	CE dS/m
			K	Na	Ca	Mg	H+Al	Al ³	SB		
0-20	78,64	9,35	0,44	0,35	6,22	2,26	0,21	0,00	9,66	7,05	1,08
20-40	10,74	9,71	0,21	0,65	6,22	2,39	0,91	0,00	9,47	6,96	0,37
40-60	29,3	4,44	0,10	0,48	7,69	3,96	0,96	0,00	17,22	6,54	0,86

A CE encontrada no solo sem aplicação de água de reúso na camada superficial de 00 - 20 cm é de 1,08 dS m⁻¹ evidenciado que esse solo necessita de manejos para o uso agrícola para evitar problemas futuros de salinidade. Essa condutividade elétrica é elevada pelos altos teores minerais, que no caso desse solo, teve o Ca como o de maior concentração.

Na área irrigada com água de reúso (Tabela 8), observou-se variação da matéria orgânica entre as camadas. Pode-se destacar a profundidade de 00 - 20 cm com a maior concentração e maior também do que na área não cultivada. Isto pode ser explicado pela adição de matéria orgânica da



água de reúso, cujos dados de DBO e DQO de 72 e 143 mg/L respectivamente (Tabela 6), expressam indiretamente a matéria orgânica da água. Os valores encontrados, porpém, estão abaixo de 1,5 dag/kg, classificado como baixo (EMBRAPA, 2015).

A PST de 31%, 46% e 30% nas profundidades de 00 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm respectivamente, são considerados elevados e ocorrem por conta do sódio adicionado após o uso doméstico como sabões, suor e resíduos de alimentos. Assim, mesmo como a condutividade elétrica abaixo de 4,00 dS/m e não se classificando como solo salino, deve-se adotar práticas de conservação do solo com manejos de cobertura do solo, adição de matéria orgânica e drenagem da área. O valor encontrado na análise de água de reúso com a quantidade de sódio foi de 54,41 mg/L, que é a fonte de adição de sódio no solo.

Tabela 8 - Análise química do solo com aplicação de água de reúso em Juazeiro área já irrigada.

Prof. (cm)	P-Dis Mg.kg ⁻¹	MO Mg/kg	cmol _c kg ⁻¹							pH (1:25) H ₂ O	CE dS/m
			K	Na	Ca	Mg	H+Al	Al ³	SB		
0-20	17,94	14,39	0,38	5,48	7,22	1,61	2,94	0,00	14,70	6,58	0,69
20-40	98,74	4,08	0,62	6,39	4,81	1,28	0,66	0,00	13,10	7,39	0,97
40-60	68,40	1,32	1,62	6,39	8,97	3,27	0,92	0,00	20,24	7,02	1,52

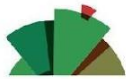
Houve um aumento na CE do solo nas profundidades de 20 - 40 e 40 - 60 cm esse aumento também foi observado nos valores de Ca e Na nas camadas do solo. Essa CE não causa problemas atualmente na área após 3 anos de aplicação de esgoto doméstico tratado, mostrando que mesmo com uma pequena quantidade de sais, não gera inviabilidade para a preservação do solo e para a cultura implantada.

Esse valor não influenciou na manutenção da cultura da palma, pelo fato da CE não está em quantidade limitante e da palma possuir seu sistema radicular nas camadas superficiais do solo contribui para que essa situação não afetem a produtividade das plantas. O sistema radicular da palma é de 40 cm para as laterais e de 10 - 40 cm de profundidade (LOIOLA et. al., 2013).

Em termos de saturação por bases, o solo possui uma boa fertilidade natural, sendo V% > 80, o que é considerado um solo eutrófico e como possuem a saturação por bases maior que 70% já indicam que não necessitam de calagem. A Capacidade de Troca Catiônica - CTC, é alta no solo do CFDJR.

Como o sistema de reator UASB e lagoa de polimento tem geração de efluente tratado com certa periodicidade, cerca de 1,8 a 2,0 m³ de água a cada 5 a 7 dias, as lâminas diárias que variavam, gerando quantidade pequenas de sais aplicados ao solo e conseqüentemente boa viabilidade agrônômica e ambiental

Observando os valores da Tabela 9, pode-se constatar a existência de elevada quantidade de nutrientes na água de reúso.

**Tabela 9 - Nutrientes presentes na água de reúso antes e pós-tratamento.**

Parâmetros nutricionais da água		
Nutrientes (mg/L)	Esgoto Bruto	Efluente pós-tratamento
N-total	41,4	31,4
P	70,0	67,5
Ca	0,7	0,9
Mg	1,5	1,4
K	41,5	43,3
Na	50,8	54,41

Uma observação importante é a quantidade de sódio, pois o acúmulo deste é tóxico para as culturas implantadas, e como visto anteriormente que o solo já se encontra com elevados teores de sódio, pode ocorrer desagregação das argilas e uma diminuição da permeabilidade do solo ao ar e água, limitando o crescimento de raízes e a germinação de sementes.

De acordo com o dimensionamento das lagoas de polimento com uma altura de 0,80 a 1,00 m, há manutenção ou redução de nitrogênio e fósforo. Também se observou redução do magnésio. Porém, nutrientes como cálcio, potássio e sódio tiveram incremento, podendo-se justificar por contaminação externa ou acúmulo no tanque de reúso.

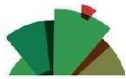
Pode-se estimar a quantidade de nutrientes aplicadas ao longo dos 30 meses gerando as quantidades de 9,52 quilos de nitrogênio; 20,4 quilos de fósforo e, 13,13 quilos de potássio. Se comparado com adubos orgânicos comercializados em Petrolina/PE, pode-se chegar no valor aproximado de 100 quilos de torta de mamona; 81,6 quilos de termofosfato e, 164 quilos de eKosil, o que corresponde a uma economia de mais de R\$ 600,00 reais.

Esse valor é correspondente à 303,24 m³ de efluente tratados e reaproveitados, o que corresponde a 5,83 cisternas de produção (52 m³ cada), comparado ao valor médio do carro pipa na região, de R\$ 100,00, o que corresponde ao valor de R\$ 3.790,00, entretanto, esse valor seria relacionado a água “potável” ou muitas vezes água bruta. Com a produtividade média de 15 kg/planta, o que é aproximadamente a 150 kg de farelo de palma. Além de reduzir 60% do consumo de água dos animais, pode-se reduzir também o volume de milho de 58 a 100%, a depender do balanço nutricional, o que garante a melhoria do rebanho durante o período de estiagem.

Existe ainda outros custos não monetizados de efeitos diretos ou indiretos do sistema, a citar redução da poluição ambiental, diminuição de vetores de doenças, redução do mal cheiro, diminuição/erradicação de doenças nas pessoas e animais, preservação de água e solo, engajamento social para outras ações ambientais, entre outros fatores.

A remoção de organismos patogênicos ocorre significativamente nas lagoas de polimento, através da ação de algas e cianobactérias, como relatada remoção de 96,2% para Coliformes termotolerantes e de remoção de 93,4% de *E.coli*. (Tabela 6). Esses valores estão de acordo ao que se recomenda por USEPA (2004 e 2012); WHO (2006) e PROSAB (2006). A água é recomendada para o uso de irrigação restrita, devendo-se evitar tubérculos e hortaliças consumidas cruas.

Como consequência, nota-se que nas análises microbiológicas do solo as quantidades de microrganismos (Tabela 10) estão na faixa de recomendação para agricultura em base a Instrução Normativa 46/2011 do MAPA, mais especificamente as quantidades destes patógenos em esterco



direcionada para a exploração agrícola, que tem como referência o valor máximo de 1.000 NMP g⁻¹ de coliformes termotolerantes e ausência de salmonela.

Tabela 10 - Análise microbiológica do solo.

Microbiologia do Solo			
Parâmetros	00-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Coliformes termotolerantes (NMP/g)	<10	<10	<10
Salmonellas sp. (Ausência/10g)	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes totais (NMP/g)	5,0 x 10 ²	8,0 x 10 ²	4,0 x 10 ²
Escherichia coli (UFC/g)	<10	<10	<10
Ovos de helminto	Não analisado		

Como o sistema de tratamento analisado apresentou eficiência aceitável no tratamento da água residuária (Tabela 6) e as características químicas e microbiológicas do solo estavam adequadas quanto ao risco de contaminação dos vegetais produzidos e do operador (Tabelas 7 a 10), pode-se afirmar que a falta de análises em outros momentos, do início das aplicações da água residuária no campo até a data desta pesquisa, não comprometeu a avaliação relada neste estudo de caso.

Conclusões

O sistema de tratamento estudado, com reator UASB seguido de lagoas de polimento possui uma alta eficiência na remoção de matéria orgânica e na redução de organismos patogênicos, possibilitando o reúso agrícola de diversas espécies vegetais que não tenham contato direto com a água ou de consumo cru.

O sistema de tratamento analisado tem-se apresentado com uma estratégia viável para o saneamento básico rural e reúso agrícola em áreas produtivas do Semiárido Brasileiro.

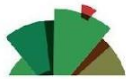
A viabilidade econômica é alta, pois somente em valores monetizados, nos dois primeiros anos de uso a família já têm seu retorno financeiro. Se fosse quantificado os serviços ambientais e questões relacionadas à saúde, esse prazo seria ainda menor.

Referências

AB'SABER, A.N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. *Geomorfologia*, São Paulo, n. 43, p. 1-39, 1974. Disponível em: < biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348621_ODominioMorfoclimatico.pdf > Acesso: 01/11/2022.

APHA, American Public Health Association: **Standart Methods for the Examination of Water and Watewaster**, 23th edition, 2012. Washington, DC, USA

BATISTA, L.F. (2015). **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p



BRASIL - Ministério das Cidades - **Grupo de Trabalho Interinstitucional, incumbido de coordenar a elaboração e promover a divulgação do Plano Nacional de Saneamento Básico** (Portaria nº. 634, de 22/10/2010, e nº 418, de 31/01/2011), com vigência até abril de 2011, GTI-Plansab. Disponível em: http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf Acesso: 30/03/2021

____ - Lei nº 11.445/2007 - Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm Acesso: 30/03/2021

____ - Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Nova delimitação Semiárido**. [s.l.]: Ml. Sudene, 2 abr. 2018. Disponível em http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiárido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf. Acesso em: 30/03/2021

BRASIL, M. S. Brasil; SOARES, A.S e FERREIRA, P.A - **Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de efluente doméstico** - Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (Suplemento), p.133-137, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFMG - <http://www.agriambi.com.br>

BUENO, R. D. F. (2011) **Nitrificação e Desnitrificação Simultânea em Reator com Biomassa em Suspensão e Fluxo Contínuo de Esgoto**, dissertação de mestrado, Faculdade de Saúde Pública, SP - Brasil 148 pp.

CALIJURI, M.L. et. al., - **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes** - Eng. Sanit. Ambient. vol.14 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2009

CAMPOS, C. M. M.; ANDERSON, G. K. **The effect of the liquid upflow velocity and the substrate concentration on the start-up and steady-state periods of lab-scale UASB reactors**. Wat. Sci. Tech, v.25, n.7, p. 41-157.

CARMO JUNIOR, G.N.R. - **Aplicabilidade do reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) para o tratamento de resíduos líquidos da suinocultura**. - Dissertação de mestrado - 1998 - Santa Catarina 81p.

CEPAL - C.G. (org.), **"Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (BigPush) para a sustentabilidade no Brasil"**, Documentos de Projetos (LC/TS.2020/37; LC/BRS/TS.2020/1), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe(CEPAL), 2020. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45592/S2000209_06_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso: 17/12/2021

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5

CRUZ, H., LUCKM, P., SEVIOUR, T., VERSTRAETE, W., LAYCOCK, B., PIKAAR, I. (2018a) **Rapid removal of ammonium from domestic wastewater using polymer hydrogels**. Scientific Reports, 8(1), 1-6.

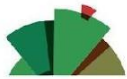
EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. - 2. ed. rev. atual. - Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPq. Documentos ; 1)

FAO - Organização da Nações Unidas para a Agricultura - Disponível em :<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1107498>. Acesso: 12/12/2021

FERREIRA, D. C., SOUZA, J. A. R., BATISTA, R. O., CAMPOS, C. M. M., Matangue, M. T. A. e Moreira, D. A. (2011) **Nutrient inputs in soil cultivated with coffee crop fertigated with domestic sewage**. *Ambi-Agua*, Taubaté, 6(3), 77-85.

FERREIRA, G. B, et. al, **Caracterização morfológica dos solos do Centro de Treinamento do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA** - Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/38874/1/OPB1906.pdf> Acesso: 17/12/2021

FONSECA, A.F. - **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e**



do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado / Adriel Ferreira da Fonseca. - Piracicaba, 2001. 110 p. : il.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. **Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs.** IWA Publishing, 650p., 2008.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

KUMAR, P.; SAROJ, D. P. **Water-energy-pollution nexus for growing cities.** *Urban Climate*, p. 846-853, 2014.

LOIOLA, R.E et al. **ACÚMULO DE BIOMASSA E CRESCIMENTO RADICULAR DA PALMA FORRAGEIRA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE COLHEITA** Biomass accumulation and root growth of cactus pear in different harvest periods. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 373 - 381, out. 2013. ISSN 2596-2868. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/12002/11333>>.

LOURENÇO, S. de O. (2006) **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações.** Embrapa Agroenergia, 113(1), 588 pp.

LUCAS, S.S, et.al., **Análise comparativa entre o sistema convencional de lagoas de estabilização com reator UASB seguido de lagoas de polimento** - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/55025/1/2019_eve_sdslucas.pdf Acesso: 30/03/2021

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; PAULO, P. L. **Abastecimento de água, esgotamento doméstico e aspectos de saúde em comunidades Quilombolas no Estado de Mato Grosso do Sul.** *Revista Interações*, v. 18, n. 2, p. 103-116, 2017. DOI: [hřp://dx.doi.org/10.20435/inter.v18i2.1435](https://doi.org/10.20435/inter.v18i2.1435)

MARQUES, M.V.A **Dinâmica e distribuição dos nutrientes do efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico no solo quando aplicado em sulcos na fertirrigação do capim-elefante** [manuscrito] / Marcus Vinícius Araújo Marques. - 2017.

MASSA, K. H. C.; Chiavegatto Filho, A. D. P. **Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível.** *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 23, e200050, 2020.

MELO, J.W.; MARQUES, M.O. **Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas.** In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto.** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.5, p.109-142.

METCALF, E., Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003

MONFET, E., Aubry, G., Ramirez, A. A. (2018) **Nutrient removal and recovery from digestate: a review of the technology.** *Biofuels*, 9(2), 247-262.

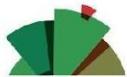
MOREIRA, J. F.; CABRAL, A. R.; OLIVEIRA, R.; SILVA, S. A. **Causal model to describe the variation of faecal coliform concentrations in a pilot-scale test consisting of ponds aligned in series.** *Ecological Engineering*, v. 35, n. 5, p. 791-799, 2009.

MELO, M.R.S. **ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE ÁGUA CINZA NO CULTIVO DO GIRASSOL ORNAMENTAL / Mikhael Rangel de Souza Melo.** - 2018. 73 f. : il. Orientador: Nildo da Silva Dias. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2018.

MEYER, M. et. al,- Camila Gramkow (org.), **"Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (BigPush) para a sustentabilidade no Brasil"**, Documentos de Projetos (LC/TS.2020/37; LC/BRS/TS.2020/1), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2020. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45592/S2000209_06_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=1 Acesso: 30/02/2021

MOREIRA NETO, R. F. M.; CARVALHO, I. C. CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F. **Rainwater use in airports: A case study in Brazil.** *Resources, Conservation and Recycling*. p. 36-43, 2012.

NOYOLA, A.R. **Diseño, Inoculación y Arranque de Reactores UASB.** III Taller y Seminario



Latinoamericano - Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Montevideo, Uruguay, 25-28 de octubre, 1994

PEARSON, H. W.; MARCON, A. E.; MELO, H. N. **The removal of thermo-tolerant coliform bacteria by immobilized waste stabilization pond algae.** In: IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds-Advances and Innovations in Pond Treatment Technology, 8., 2009, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte: ABES, 2009.

PERONI, J. B.; CARVALHO, L. H.; LANNES, L. S. . **Aspects of water quality and basic sanitation in a rural settlement in the state of São Paulo: diagnosis and perspectives for the improvement of the socio-environmental quality** . Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e1010212293, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12293. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12293>. Acesso em: 17 dec. 2021.

PROSAB, projeto - **Tratamento e utilização de esgotos sanitários** / Lourdinha Florencio, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Miguel Mansur Aisse (Coord.). Rio de Janeiro : ABES, 2006.

REZENDE, O. de O., ROSA, R. S., MESSIAS, R. M., AMBROZINI, B. (2003) **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável.** *Ecologia*, 52, 12-21.

SILVA, J.M.. **Gestão de recursos hídricos em propriedades rurais do semiárido.** / Juan Monteiro da Silva. - 2021. 216 f. Orientador: Professor Dr. José Irivaldo Alves de Oliveira Silva. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse, Washington DC, 2004.

_____ - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse, Washington D.C., September 2012. 643. (EPA/600/R-12/618).

VAN HAANDEL, A. C. e LETTINGA, G. (1994) **Tratamento Anaeróbico de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente.** Epgraf. Campina Grande, PB.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado - Teoria e Aplicações para Projetos e Operação.** EPGRAF, Campina Grande, 1999

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - wastewater use in agriculture.** Geneva: [s.n.], v. 2, 2006. 222 p. ISBN 92 4 154683 2.

_____ **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** World Health Organization Technical Report Series, n.778. World Health Organization, Geneva. 1989