

II- 434- APLICAÇÃO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS INTEGRADOS AO PAISAGISMO NO TRATAMENTO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZA

Lucas Sampaio Lopes ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais – UFV. Doutorando em Recursos Hídricos e Ambientais – UFV.

Gabriel Campos Vieira ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2015) e Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (2017).

Thaís da Silva Alves ⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Maria Lúcia Calijuri ⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Universidade de São Paulo. Mestre e doutora em Geotecnia pela Universidade de São Paulo. Professora titular da Universidade Federal de Viçosa desde 1996.

Eduardo de Aguiar do Couto ⁽⁵⁾

Professor adjunto na Universidade Federal de Itajubá, campus Itabira. Possui doutorado (2016) e mestrado (2012) em Engenharia Civil, na área de concentração de Engenharia Sanitária e Ambiental, e graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2010).

Endereço ⁽¹⁾: Rua Augusta Siqueira, 161, apt 303/bloco A - Centro - Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-125 - Brasil - Tel: +55 (31) 99322-0813 - e-mail: lucas.s.lopes@ufv.br.

RESUMO

Hoje em dia a escassez de recursos naturais, principalmente a redução tanto qualitativa quanto quantitativa dos recursos hídricos atinge grande parte da população mundial. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de alagados construídos em jardins para tratar água cinza e a possível utilização desse efluente em atividades que não necessitam de água potável. A unidade experimental foi instalada nas dependências do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) da Universidade Federal de Viçosa, onde foram construídos e operados os alagados construídos de escoamento horizontal e vertical. Estas unidades possuíam brita como meio suporte para espécies de plantas ornamentais. Foi proposto um sistema de reúso utilizando esta tecnologia de tratamento no LESA, abordando aspectos técnicos e econômicos para a implantação. De acordo com o limite estabelecido pela NBR 13969/1997, 81,25% das amostras coletadas do efluente após o tratamento no alagado construído horizontal (ACH) ficaram abaixo do limite mais restritivo (classe 1 e 2) e 93,75% para o menos restritivo (classe 3) da norma para turbidez. Já o efluente do alagado construído vertical (ACV) teve 18,75% das amostras coletadas inferior ao limite para classe 3. Em relação às diretrizes da OMS para reúso, 100% das amostras do ACH e ACV ficaram abaixo do limite de *E. coli*. O sistema de reúso proposto no LESA possibilitaria economizar 3200 litros/mês de água para atividades não potáveis exercidas na edificação estudada. A limpeza de pisos e descarga nos vasos sanitários poderia ser atendida plenamente pela água de reúso, enquanto a irrigação dos jardins pode ter seu consumo reduzido em 24% nos períodos de estiagem. O trabalho permitiu concluir sobre o desempenho dos alagados construídos no tratamento de água cinza, destacar sua inclusão na harmonia paisagística como aspecto positivo no uso de sistemas descentralizados, assim como a aplicabilidade e relevância do reúso de água em edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Águas Cinza, Alagados Construídos, Wetlands, Água de Reuso.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de água tem se tornado imperativa frente ao quadro de escassez quali e quantitativa observada em diversos países, inclusive no Brasil. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 36 milhões de brasileiros não têm acesso ao abastecimento público de água tratada ou não dispõem de informações suficientes no sistema (SNIS, 2020). Aliado a isso, o cenário do esgotamento sanitário é ainda mais alarmante, muitas vezes contribuindo na deterioração da qualidade da água para o abastecimento humano.

Uma importante alternativa para o uso racional da água, com potencial para minimizar o lançamento de cargas poluidoras nos corpos hídricos e ainda reduzir demanda de água tratada para fins não potáveis, como irrigação de jardins, lavagem de veículos, descarga de vasos sanitários, dentre outros é a segregação de efluentes na fonte gerando água cinza, água negra (efluente bacia sanitária) e água amarela (urina) e a utilização de sistemas de tratamento descentralizados, em que a coleta, tratamento e lançamento (ou reúso) acontecem próximos à geração.

A água cinza, definida como efluente doméstico sem a contribuição de bacias sanitárias (ELMITWALLI E OTTERPOHL 2007; MISRA ET AL. 2010; SANTOS ET AL. 2011), possui características amplamente variáveis de acordo com hábitos culturais e sociais (número de pessoas, idade, quantidade de fármacos usados, produtos de limpeza, consumo e disponibilidade de água). Água de chuveiro e pias podem conter pasta de dente, shampoos, sabonetes, óleos corporais, cremes, além de traços de urina e fezes. Na lavanderia encontram-se altas concentrações de sódio, fósforo, surfactantes e nitrogênio provenientes do sabão, assim como tintas, solventes e fibras de roupas, dentre outros (GHAITIDAK E YADA, 2013). Esse efluente pode vir a ser tratada com uso de tecnologia com menores custos e simplicidade operacional, uma vez que representa cerca de 65% do esgoto em residências com menor carga orgânica e de sólidos.

Dessa forma, os alagados construídos tornam-se uma opção viável, pois são sistemas de tratamento de águas residuárias de baixo custo e baixa complexidade. Essa tecnologia de tratamento se baseia em processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas naturais. Possuem como principais componentes: o meio suporte, como solo, areia ou brita, espécies vegetais características de áreas alagadas, e microrganismos associados a estes elementos que atuam na biodegradação do efluente.

Além disso, aliados ao uso de plantas ornamentais possuem grande aplicabilidade em sistemas de tratamento descentralizados, podendo compor a harmonia paisagística em jardins de edificações, parques, pousadas, hotéis e clubes campestres (CHAGAS, 2011).

Diante do exposto, o presente trabalho visou avaliar o uso de alagados construídos com plantas ornamentais no tratamento de água cinza e a possível utilização desse efluente em atividades que não necessitam de água potável para sua execução.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro a abril de 2014, na área externa do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa – MG.

O LESA possui um quadro de seis funcionários, sendo dois auxiliares de manutenção, um auxiliar de laboratório, uma técnica de laboratório e dois professores. Estes funcionários trabalham 8h diárias no local, gerando em média 200 L.d⁻¹ de efluente.

Para o tratamento da água cinza, foram instalados dois alagados construídos, horizontal (ACH) de fluxo subsuperficial e um vertical (ACV) de fluxo descendente, a fim de avaliar mais de uma configuração dessa tecnologia. Os dois sistemas foram construídos em paralelo e alimentados com o efluente do vestiário utilizado pelos funcionários e estudantes do LESA.

O ACH foi operado com vazão de 200 L.d⁻¹ e o ACV com vazão de 45 L.d⁻¹. O ACV foi operado de maneira intermitente. Esta vazão foi aplicada durante uma hora por dia, com o intuito de melhorar a eficiência de remoção de matéria orgânica e a condição redox, além de aumentar a atividade biológica e estimular os mecanismos de nitrificação e desnitrificação (JIA, 2010).

As características de projeto do ACH foram: volume de 0,4 m³, área de 1,33 m², TDH=1 dia e TAS = 0,15 m³.m⁻². d⁻¹. Já o ACV tinha área de 0,3 m², volume de 0,15m³, TDH=17 dias e a mesma TAS do fluxo horizontal. Ambos possuíam como meio suporte brita nº 0.

A escolha das espécies agapanto (*Agapanthus africanus*), moréia (*Dietes bicolor*) e lírio amarelo (*Hemerocallis flava*) para a utilização nos alagados construídos foi feita visando à depuração do efluente e a recomposição paisagística. Estas espécies têm como características, bom desenvolvimento em solos ricos em

matéria orgânica, facilidade em se adaptar em condições diversas do meio, ser perene e apresentar bom perfilhamento (CHAGAS, 2008).

As amostras foram coletadas na entrada e saída dos alagados construídos de forma simples. As análises foram feitas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Foram monitorados sólidos em suspensão, demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio amoniacal, nitrogênio kjeldahl total (NTK), fósforo total, Escherichia coli. Adicionalmente, na hora da amostragem, realizou-se medições de pH, temperatura, OD, condutividade elétrica (CE) e turbidez.

As normas utilizadas na avaliação que orientam e recomendam sobre a qualidade do efluente para determinados usos, foram a Deliberação Normativa CERH-MG N° 65, de 18 de junho de 2020, a NBR 13969/1997 e a OMS.

A Deliberação Normativa CERH-MG N° 65, estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados, além de mencionar outras providências. Na modalidade urbano recomenda:

- Na categoria amplo, com a finalidade de lavagem de pátios, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias): pH entre 6,0 e 9,0; coliforme fecal ou E. Coli até 1×10^3 NMP/100 mL; e ovos viáveis de helmintos até 1 (n° de ovos/L).
- Na categoria limitado, com o objetivo de lavagem de veículos especiais (tais como aqueles utilizados em coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração), lavagem externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto (para desobstrução de galerias de águas pluviais e de redes de esgoto, o limite referente a coliformes termotolerantes ou E.coli é de 1×10^7 NMP/100 mL); pH entre 6,0 e 9,0; coliforme fecal ou E. Coli até 1×10^4 NMP/100 mL; e ovos viáveis de helmintos inferior até 1 (n° de ovos/L).

A NBR 13969/1997 define classificações e valores de parâmetros para esgoto de acordo com o reuso a ser destinado.

- classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
- classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.
- classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem este padrão, sendo necessário apenas uma cloração.
- classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Com isso, foi verificado se o efluente tratado em ambos os sistemas é adequado para as práticas de reuso de determinada classe.

Objetivou-se ainda, avaliar o potencial de redução no consumo de água nas atividades não potáveis exercidas no LESA. Para isso, foram estimados os volumes de água cinza produzidos na edificação estudada, assim como a demanda nas atividades a serem contempladas com a água de reuso. As estimativas de oferta de água cinza foram feitas com base em dados levantados em campo, como a vazão dos aparelhos hidrossanitários e volume de água consumido na limpeza dos pisos, além de dados secundários como a frequência de utilização por parte dos funcionários. Já a demanda de efluente requerida nas atividades definidas foi estimada no período de um mês considerando o cenário de maior consumo do laboratório, também baseado em dados levantados no local e referências quanto à demanda de água no jardim.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios encontrados para as variáveis físicas e químicas na caracterização qualitativa da água cinza na entrada e saída dos alagados construídos horizontal e vertical são demonstrados na tabela 1.

Tabela 1: Resultados da avaliação qualitativa dos sistemas de alagados construídos horizontal e vertical.

Variáveis	n	Entrada	ACH		ACV	
		Média	Média	Remoção (%)	Média	Remoção (%)
pH	15	7,4	7,2	-	7,2	-
Temp (°C)	16	23,4	23,6	-	23,2	-
OD (mg/L)	15	4,6	3,7	-	4,8	-
Cond (µS/cm)	16	595,2	571,9	-	508,1	-
Turb (uT)	16	57,4	4,1	92,9	31,5	45,1
DQO (mg/L)	16	83,7	48,9	41,6	74,0	11,6
COT (mg/L)	13	33,8	17,0	49,6	22,7	32,7
NKT (mg/L)	15	12,8	4,1	67,8	5,5	56,7
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	15	4,3	1,4	68,0	1,6	63,0
P total (mg/L)	15	0,3	0,2	22,2	0,3	0,0
ST (mg/L)	12	271,5	273,0	-0,5	289,2	-6,5
SST (mg/L)	12	50,6	8,2	83,7	47,8	5,5
SDT (mg/L)	12	221,0	264,8	-19,8	241,4	-9,2
<i>E.coli</i> * (NMP/100mL)	12	6,32x10 ¹	9,28x10 ⁰	1 unid.log	6,25x10 ⁰	1 unid.log

O pH de águas cinza depende do pH advindo do efluente gerador. Com isso alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para o seu aumento. As amostras de água cinza apresentaram o pH bem próximo da neutralidade, assim como em esgotos domésticos típicos.

Observou-se que as temperaturas de entrada e saída do efluente nos alagados construídos, horizontal e vertical não apresentaram grandes variações, ficando em média de 23,4, 23,6, e 23,2 °C, respectivamente. Uma menor variação térmica possibilita o desenvolvimento de microrganismos adaptados às condições ótimas, possibilitando maior velocidade das reações no consumo de substrato (MONTEIRO, 2009).

As concentrações de OD encontradas na entrada do sistema foram de 4,6 mg/L, já no ACH e ACV as concentrações foram de 3,7 mg/L e 4,8 mg/L em média. As quantidades de oxigênio dissolvido em águas cinza variam nas concentrações de 0 a 5,8 mg/L (ALMEIDA, 1999). Segundo Kadlec e Knight (1996) é provável que a maior parte da transferência de oxigênio a partir da atmosfera para a coluna d'água e no leito ocorra por aeração através da interface. Observou-se um aumento de OD no ACV. Este fato pode ser explicado pela maior absorção de oxigênio atmosférico na interface água-ar, promovida pela alimentação intermitente.

Os valores de condutividade elétrica encontrados na entrada do sistema, e na saída dos ACH e ACV foram de 595,2, 571,9 e 508,1 µS/cm. Pode-se observar que ocorreu uma pequena redução nestes valores. A precipitação de sais no meio e a absorção de íons (nutrientes) pelas plantas nos alagados construídos podem justificar esta redução.

A quantificação do carbono se justifica devido o mesmo ser um bom indicador da presença de matéria orgânica em meios hídricos. A utilização desta variável é preferível devido a sua rapidez de detecção e não utilização de compostos tóxicos. Verifica-se na Tabela 1 que a concentração média de COT na água cinza bruta foi de 33,8 mg/L e após o tratamento no ACH e no ACV foram de 17 e 22,7 mg/L, respectivamente. Com isso, obteve-se uma remoção de 49,6% no ACH e 32,7% no ACV. Esse resultado situa-se abaixo do atingido por Monteiro (2009), que obteve uma remoção de 57% de COT no ACH subsuperficial. Isto provavelmente está relacionado à limitação no desenvolvimento do biofilme, devido às baixas concentrações de nutrientes encontradas no efluente, principalmente de fósforo.

A DQO pode indicar o risco de depleção de oxigênio devido à degradação da matéria orgânica durante o transporte e estocagem, ligado a isso o risco de produção de sulfeto (BAZZARELA, 2005). As concentrações de DQO encontradas foram 83,7; 48,9 e 74 mg/L para a entrada, ACH e ACV respectivamente. O ACH teve um maior rendimento, obtendo uma remoção de 41,6% contra 11,6%, podendo também ser explicado provavelmente pelo efeito de sedimentação do material orgânico que ocorre devido ao fluxo horizontal. Monteiro (2009) obteve remoção de 60% utilizando alagado construído horizontal para tratar águas cinza. Já Avelar (2012) tratando esgoto doméstico em alagados construídos horizontais de fluxo superficial com *Mentha aquática* conseguiu uma eficiência de 71,3 a 91,4 % de DQO.

Os sólidos suspensos advêm normalmente de fios de cabelo, fibras de tecido e partículas de areia no efluente de pias de banheiro e de chuveiros. Em projetos de tratamento e utilização de águas cinza, a importância do teor de sólidos suspensos está relacionada com a possibilidade de entupimento das tubulações que levam o efluente até a estação de tratamento (COUTO, 2012). A remoção obtida de SST foi de 83,7% no ACH e de 5,5% no ACV. A remoção de SST no ACH foi mais elevada, possivelmente devido à capacidade deste alagado funcionar como filtro horizontal, favorecendo assim a sedimentação. Monteiro (2009) utilizando alagados construídos horizontais para tratar águas cinza apresentou remoções de sólidos suspensos totais médias de 75%. May (2009) utilizando um sistema de tratamento biológico aeróbio popularmente chamado de biodisco obteve uma remoção de SST de 94,1% nas águas cinza tratadas. Kadlec e Wallace (2009) relatam que os principais mecanismos de remoção de sólidos suspensos em alagados construídos são a interceptação e a sedimentação, correlacionando, assim as menores remoções observadas com as maiores granulometrias no meio suporte, pois estas dispõem de menos obstáculos para interceptar os sólidos.

No efluente de água cinza, a principal fonte de nitrogênio vem dos alimentos, além da urina. O teor de nitrogênio avaliado neste trabalho provavelmente advém da urina durante o banho, uma vez que não foi adicionado efluente contendo restos de alimentos. As concentrações médias de NTK foram de 12,8, 4,1 e 5,5 mg/L para entrada, ACH e ACV respectivamente. Já as concentrações de nitrogênio amoniacal foram de 4,3 mg/L para o efluente bruto, 1,4 mg/L para o ACH e de 1,6 mg/L no alagado vertical. Foi constatada uma remoção de nitrogênio total e nitrogênio amoniacal de 67,8 e 68% no ACH e 56,7 e 63,0% no ACV, respectivamente. May (2009) obteve uma redução de nitrogênio total Kjeldhal de 63,2% na saída do sistema de tratamento de biodisco e para o nitrogênio amoniacal uma redução de 68,1%.

Em alagados construídos, os mecanismos que removem nitrogênio de águas residuária incluem a volatilização de amônia, desnitrificação, absorção pela planta (com a colheita da biomassa), adsorção de amônio e a transformação anaeróbia de amônio em nitrogênio gasoso (ANAMMOX) (AVELAR, 2012). As menores concentrações de nutrientes em águas cinza, tanto de nitrogênio, quanto de fósforo, podem limitar a eficiência de um sistema biológico de tratamento, mais especificamente o estabelecimento do biofilme (AL-JAYYOUSI, 2003). Uma vez que não haja nutrientes suficientes para seu crescimento, a remoção de compostos dissolvidos no efluente pode ser comprometida.

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos (BAZZARELA, 2005). O fósforo inorgânico existe sob a forma de ortofosfato e polifosfatos. Os valores encontrados na amostra do reservatório e pós-tratamento nos alagados horizontais e verticais foram 0,3; 0,2 e 0,3 mg/L, respectivamente, obtendo remoção apenas no ACH e 22%. Estes valores baixos se devem a geração, na qual a principal fonte de fósforo seria o uso de sabonetes no banho e detergentes. Bazzarela (2005) encontrou em efluente de lavatórios e chuveiros concentrações de fósforo de 0,6 e 0,2 mg/L respectivamente.

A Figura 1 mostra a distribuição dos valores de turbidez para os alagados construídos e os limites estabelecidos por norma para as classes 1, 2 e 3.

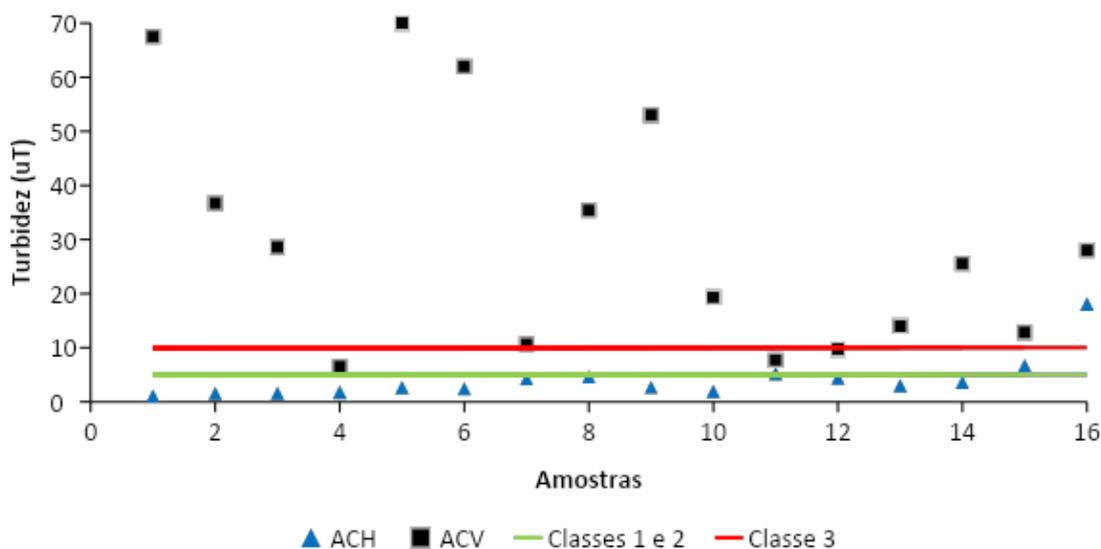


Figura 1: Valores de Turbidez encontrados no ACH e ACV e os limites impostos na NBR13969/1997.

Esta variável apresentou remoção de 92,9% para ACH e 45,1% para ACV. Os valores de turbidez encontrados para os alagados construídos horizontais permaneceram em 81,25% das amostras abaixo de 5 uT, atendendo assim o padrão mais restritivo da norma para reúso de águas servidas a NBR 13969/1997. Já na unidade de tratamento vertical, 18,75% das amostras ficaram inferiores a 10 uT, valor este limite para o reúso em classe 3, determinado pela mesma norma. Monteiro (2009) obteve valores de 6,4 uT em 75% das amostras e 15,8 uT em 90%, atingindo assim uma média de remoção de 92%. Bazzarela (2005) obteve na saída do tratamento biológico uma eficiência de 96% para a turbidez. Couto (2012) utilizando filtro anaeróbico de fluxo ascendente para tratar águas cinza, alcançou uma eficiência de 88% para remoção de turbidez.

Com o intuito de mitigar os riscos para a saúde dos usuários deve-se atentar a qualidade sanitária do efluente para reúso (FRIEDLER et al. 2006). A água cinza não possui contribuição de vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microrganismos patogênicos, mesmo assim obteve-se resultado positivo de *E. coli*. A maior parte de microrganismos indicadores de contaminação fecal em ambiente de lavatórios e chuveiros advém da higiene pessoal.

Foi observada no efluente gerado uma concentração de $6,32 \times 10^1$ NMP/100ml, $9,28 \times 10^0$ e $6,25 \times 10^0$ NMP/100ml para a entrada, o ACH e ACV respectivamente. Foi obtida uma remoção de 1 unidade logarítmica para o ACH e ACV. Bazzarela (2005) obteve uma remoção de 1 log para *E. coli* no reator anaeróbico combinado. Já Monteiro (2009) conseguiu uma eficiência de remoção de 1 log no alagado construído horizontal.

Na Figura 2 podem-se observar os valores das amostras coletadas no ACH e ACV, o limite mais restritivo estabelecido pela OMS (WHO, 2006) para uso de efluentes sanitários na irrigação irrestrita e o limite para coliformes totais de acordo com a NBR 13969/1997 para reúso em atividades da classe 2, a qual define os usos pertinentes ao local de estudo como lavagem de pisos e irrigação de jardins. Os valores encontrados conforme situam-se todos abaixo do indicado pela OMS, NBR, além de se enquadrar nas recomendações da Deliberação Normativa CERH-MG N°65. Este resultado ratifica a não necessidade de uma etapa de desinfecção.

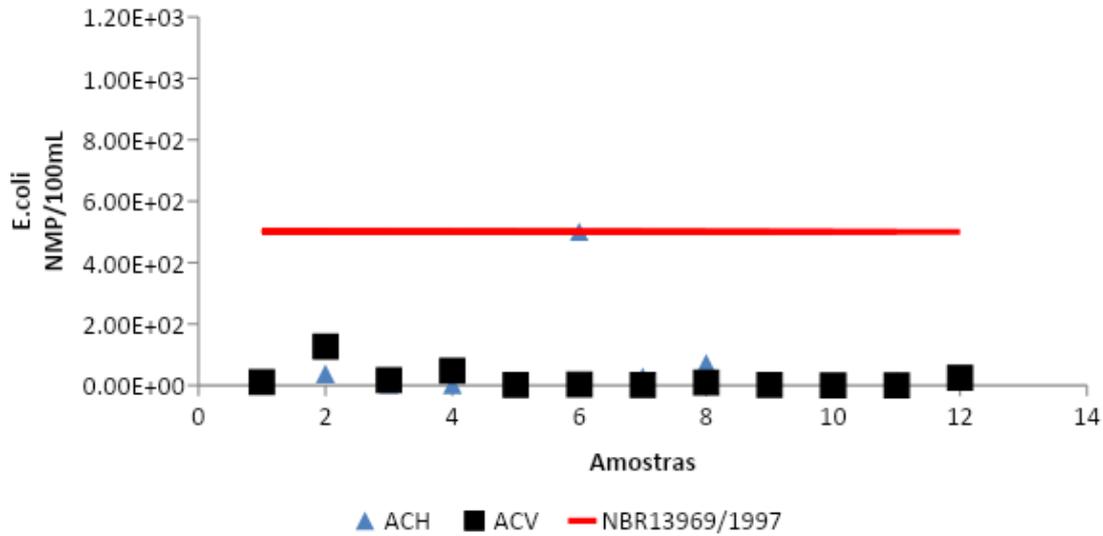


Figura 2: Valores encontrados de E.coli para o ACV e ACH e o limite estabelecido pela NBR 13969/1997.

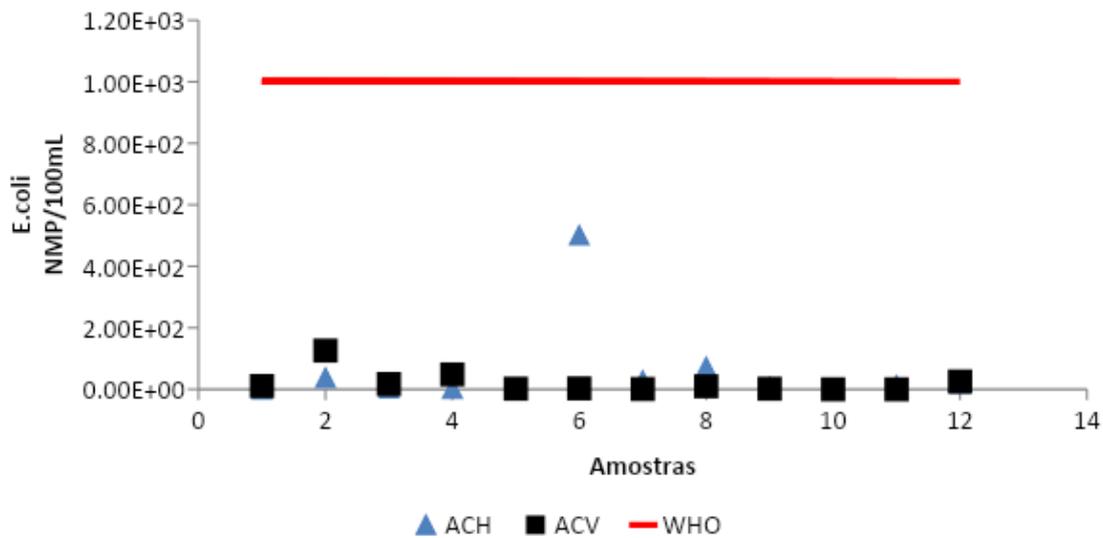


Figura 3: Valores encontrados de E.coli para o ACV e ACH e o limite estabelecido pela WHO (2006).

A Tabela 2 demonstra a produção de água cinza em cada atividade, assim como o volume total produzido em um mês. Já na Tabela 3 verifica os valores encontrados para demanda de água não potável em cada atividade que somadas representam o volume de água potável consumido considerando um mês de maior demanda na irrigação.

Tabela 2: Estimativa de produção de água cinza na edificação.

Usos	Volume Mensal (L)
Limpeza	320
Chuveiros	2400
Pia	480
Total	3200

Tabela 3: Estimativa da demanda de água não potável na edificação.

Usos	Volume Mensal (L)
Irrigação	12000
Limpeza	320
Descarga	1200
Total	13520

Observa-se pelas Tabelas 2 e 3, considerado um mês no período de estiagem, quando a demanda na irrigação do jardim é máxima, as águas cinzas podem contribuir com 24 % do total de 13520 litros demandados em usos não potáveis no LESA.

É possível que os reservatórios de água pluvial não estejam totalmente esgotados durante a seca devido ao acúmulo no período chuvoso. Os usos como a descarga nos vasos sanitários e lavagem de pisos podem ter suas demandas atendidas integralmente pelo sistema de reuso. Sendo assim, a irrigação ainda teria percentual de 15 % atendido pela distribuição da água cinza tratada.

Por outro lado, a demanda na irrigação em outros meses é menor, podendo chegar a 1000 litros no mês (SILVA, 2014). Nesses casos, a porcentagem de contribuição por parte do sistema de reuso aumentaria até a situação em que a produção de água cinza excederia a demanda não potável. Diante disso, seria necessário o descarte do efluente tratado direto para a rede de esgotos através de um ladrão no tanque de armazenamento, uma vez que o espaço disponível é limitante quanto à capacidade dos reservatórios a serem dispostos na área do laboratório.

CONCLUSÕES

As variáveis analisadas do efluente tratado ao longo do período de avaliação dos sistemas de tratamento tiveram muita variação, fato este possivelmente explicado por diferentes fontes geradoras de águas cinza, sendo isto uma característica comum a este efluente. A avaliação dos alagados construídos em tratamento de água cinza permitiu identificar o ACH como um sistema eficiente no tratamento, sendo que o mesmo conseguiu se enquadrar às exigências da NBR 13969/1997 e da OMS para reuso.

O sistema de reuso no LESA mostrou potencial para reduzir o consumo de água em atividades não potáveis. A limpeza de pisos e descarga nos vasos sanitários pode ser atendida plenamente pela água de reuso, enquanto a irrigação dos jardins pode ter seu consumo reduzido em 24% nos períodos de estiagem e em até 100% nos períodos chuvosos.

O sistema de tratamento do tipo alagado construído associado ao paisagismo representa uma alternativa que pode ser incentivada em vários locais como aeroportos, praça públicas, condomínios residenciais e em propriedades rurais, independente dos custos, visto sua importância ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969/1997. *Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
2. AL-JAYYOUSI, O. R. *Greywater reuse: towards sustainable water management*. *Desalination*. V. 156, p. 181 – 192. 2003.
3. ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. *At-source domestic wastewater quality*. *Urban Water*. v. 1, n.1, p. 49-55, 1999.
4. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21th edition. Washington, 2005.
5. AVELAR, F. F. *Desempenho de Sistemas Alagados Construídos Cultivados com Mentha aquatica no Tratamento de Esgoto Sanitário*. 2012. 79p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

6. BAZZARELLA, B. B. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações*. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2005.
7. BRASIL (Minas Gerais). Deliberação Normativa nº 65, de 18 de junho de 2020. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH: Deliberação Normativa CERH-MG Nº 65, de 18 de junho de 2020. Minas Gerais, Brasil.
8. CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; LO MONACO, P. A. V.; FRANÇA, L. G. F. *Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.11, p.1186-1192. 2011.
9. CHAGAS, R. C. *Utilização de lírio amarelo (Hemerocallis flava) em sistemas alagados construídos para tratamento de esgoto doméstico*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008. 66p.
10. COUTO, E. DE A. D. *Avaliação do reuso de águas cinza em ambientes aeroportuários*. 2012. 115p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
11. ELMITWALLI, T. A., OTTERPOHL, R. *Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor*. Water Research, 41. pp. 1379 – 1387. 2007.
12. FRIEDLER, E., KOVALIO, R., BEN-ZVI, A., 2006. *Comparative study of microbial of greywater treated by three on-site treatment systems*. Environmental Technology, 27 (6). p. 653–663. 2006.
13. GHAITIDAK, M. D., YADAV, D.K., 2013. *Characteristics and treatment of greywater—a review*. Environ Sci Pollut Res, 20. p. 2795-2809. 2013.
14. GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P. INTRODUÇÃO. IN: GONÇALVES, R. F. (COORD.). *Uso Racional da Água em Edificações*. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-28. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Uso%20C3%81gua%20-%20final.pdf>>
15. JIA, W., ZHANG, J., WU, J., XIE, H., ZHANG, B. *Effect of intermittent operation on contaminant removal and plant growth in vertical flow constructed wetlands: A microcosm experiment*. Desalination. v. 262, p. 202-208. 2010
16. KADLEC, R.H., WALLACE, S.D. *Treatment Wetlands*. Boca Raton: CRC Press, 2009. 1016p.
17. KADLEC, R.H, KNIGHT, R.L. *Treatment wetlands*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893p.
18. MAY, S. *Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações*. 2009. 223p. (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
19. MISRA, R. K., PATEL, J. H., BAXI, V. R. *Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato*. Journal of Hydrology, 386. pp. 95 – 102. 2010.
20. MONTEIRO, R. C. M. *Viabilidade Técnica do Emprego de Sistemas tipo “Wetlands” para Tratamento de Água Cinza visando o Reúso Não Potável*. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
21. SANTOS, C., TAVEIRA-PINTO, F., CHENG, C. Y., LEITE, D. *Development of an experimental system for greywater reuse*, Desalination (2011), doi:10.1016/j.desal.2011.10.017
22. SILVA, M. D. F. M. *Integração de tecnologias de metodologias para o uso eficiente de água em edifícios*. 2014. 155p. Dissertação (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
23. SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Painel de abastecimento de água. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-abastecimento-agua>. Acesso em: 10 nov. 2022.
24. WHO - World Health Organization. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater and Excreta Use in Agriculture*. Geneva. 2006.