

**XII- 869 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA
DESCENTRALIZADO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS -
ECOSSISTEMA ENGENHEIRADO - CONSIDERANDO A RELAÇÃO ENTRE A
PRODUÇÃO DE BIOMASSA E A REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA E
NUTRIENTES**

Rayssa Vogeler Berquó Jacob ⁽¹⁾

Doutoranda em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Maria Clara Vieira Pereira De Souza

Mestranda em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Leandro Honorato

Engenheiro Civil e Sanitarista.

Ana Silvia Pereira

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

André Luís de Sá Salomão

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Grupo de pesquisa BIOTEMA (@gpbiotema).

Endereço ⁽¹⁾: R. São Francisco Xavier, 524 – Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - Tel: (21) 97135-5505 - e-mail: rayssajacob@gmail.com

RESUMO

As soluções descentralizadas para o tratamento de esgotos domésticos são alternativas que vem ganhando maior aplicação em comunidades isoladas e com baixa densidade demográfica, a fim de aumentar a oferta de serviços de esgotamento sanitário. Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho do Ecosistema Engenheirado (EE) e avaliar a contribuição da biomassa dos tanques alagados na remoção da carga orgânica (em função da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO) e dos nutrientes (Nitrogênio Total e Fósforo Total). O EE foi composto por tratamento convencional, com caixa de gordura + tanque séptico + filtro aerado submerso + biofiltro misto combinado com soluções baseadas na natureza, compostas por 3 wetlands construídos (*E. crassipe*, *T. domingensis*, gramíneas) e um tanque de algas, com capacidade de tratamento de 1250 L dia⁻¹, em uma área total de 25 m². Para a avaliação do desempenho do tratamento foi realizado o monitoramento de 8 pontos, em 4 campanhas entre novembro/22 e fevereiro/23, com análise de parâmetros físico-químicos (pH, OD, DBO, SST, Amônia, Nitrito, Nitrato e Fósforo), visando atender aos padrões de lançamento de efluentes líquidos da Normativa do Rio de Janeiro - NOP INEA 45/2021. Ainda, foram avaliadas a contribuição da remoção de cargas orgânicas e de nutrientes pela biomassa das macrófitas e das algas. Os resultados indicaram boa eficiência na remoção de compostos orgânicos, com eficiências globais de DBO de 84%, 88% de SST e 39% de Amônia. A contribuição conjunta dos 4 tanques alagados para redução de matéria orgânica e nutrientes foi de 26,32 g C dia⁻¹, 6,30 g N dia⁻¹ e 0,60 g P dia⁻¹ e apresentaram uma taxa média de crescimento total de biomassa de 40,41 g m⁻² dia⁻¹, sendo o tanque de Aguapé o que apresentou melhor eficiência. Pode-se concluir, que o modelo do EE é uma alternativa promissora para alcançar a universalização do saneamento em áreas isoladas, tendo em vista que é um sistema com boa eficiência de tratamento, que combina soluções convencionais com as baseadas na natureza garantindo uma maior resiliência do sistema para enfrentar os desafios das mudanças climáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento rural; Esgoto doméstico; Wetlands construídos; Região insular; Tratamento descentralizado

INTRODUÇÃO

Segundo ANA (2020), o Brasil apresenta dados insatisfatórios em relação ao saneamento básico, com somente 46,5% da população urbana atendida por coleta e tratamento de esgoto, de forma centralizada, enquanto 53,5% não possui esses serviços de forma satisfatória. Em relação aos sistemas descentralizados, foco do presente artigo, 12,3% da população urbana utiliza soluções individuais, do tipo fossa séptica e sumidouro e 20,1 % do tipo fossa rudimentar.

De acordo com o IBGE (2010), 79% dos municípios brasileiros têm uma população menor ou igual a 50.000 habitantes, regiões onde há maior carência de investimentos em infraestruturas de saneamento. Com isso, o estudo e o desenvolvimento de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos domésticos são de grande importância, visto que essa é uma alternativa que pode contribuir para o acesso aos serviços de tratamento de esgotos nessas localidades (HONORATO et al., 2021).

O tratamento descentralizado é definido, principalmente, pelo fato de o esgoto ser tratado próximo à fonte. Tais sistemas são preferencialmente adotados em comunidades isoladas, com baixa densidade demográfica e, de maneira geral, são mais econômicos do que os sistemas centralizados (USEPA, 2005). É importante destacar que diferentes tecnologias convencionais de tratamento de esgotos, arrançadas em fluxogramas bem definidos, podem caracterizar os sistemas descentralizados, tais como o muito usual sistema fossa-filtro. Este fluxograma é composto por um tanque séptico seguido de um filtro anaeróbio.

Outra tecnologia de tratamento descentralizado de esgotos que vem sendo aplicada largamente em todo o mundo é o sistema *Wetlands* Construídos (WC). Trata-se de tanques alagados e vegetados que reproduzem, de forma controlada, os processos naturais de autodepuração que acontecem no meio ambiente. Estes sistemas são compostos por macrófitas aquáticas, substrato e microrganismos, formando o complexo “substrato-microbiota-plantas”, que juntamente e por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos promovem o tratamento dos efluentes (PELISSARI et al., 2019).

Independente do arranjo tecnológico adotado, em função da descentralização inerente a estas soluções, o reaproveitamento dos subprodutos gerados no tratamento é indicado e tem se tornado cada vez mais aplicável. Assim, entende-se que estas soluções, além de se alinharem com a sustentabilidade, aumentam a possibilidade do alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, em especial o número 6 “Água potável e saneamento” (ONU, 2021), com a promoção do acesso ao serviço de esgotamento sanitário.

O arranjo tecnológico de tratamento descentralizado de esgotos, denominado *Ecosistema Engenheirado (EE)*, instalado e operado no Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na região isolada da Vila de Dois Rios, Ilha Grande (IG) – RJ, combina tecnologias de tratamento convencional como fossa séptica e filtro aerado submerso, com tanques de WC. Esta solução promove um tratamento completo e eficaz, uma vez que permite a coexistência das três etapas de tratamento (primário, secundário e terciário) em um só sistema (SALOMÃO et al., 2012). Trata-se assim, de uma alternativa eficiente para o tratamento de esgotos em regiões sem acesso aos serviços de tratamento de esgotos de forma centralizada.

A principal premissa que envolve a alocação dos tanques de WC ao final do sistema, no arranjo tecnológico adotado no presente estudo, é que estas unidades promovem tanto a remoção de matéria orgânica remanescente das etapas anteriores, como de, principalmente, remoção de nutrientes (SALOMÃO et al., 2012).

As macrófitas aquáticas têm sido amplamente estudadas como fontes de tratamento de esgotos para a remoção de sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos totais, DBO, DQO, formas de nitrogênio, ortofosfato, metais pesados, microrganismos patogênicos e outros poluentes (ISMAIL et. al, 2015).

Assim, no presente estudo, foi analisado o desempenho do Ecosistema Engenheirado, com o principal objetivo de avaliar a contribuição das macrófitas, ou seja, da tecnologia de *Wetlands* Construídos, na remoção da carga orgânica (em função da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO) e dos nutrientes (Nitrogênio Total e Fósforo Total).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Ecossistema Engenheirado (EE) foi instalado e vem sendo operado desde 2009, no Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS), campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na Vila de Dois Rios na Ilha Grande, município de Angra dos Reis - RJ (Figura 1).

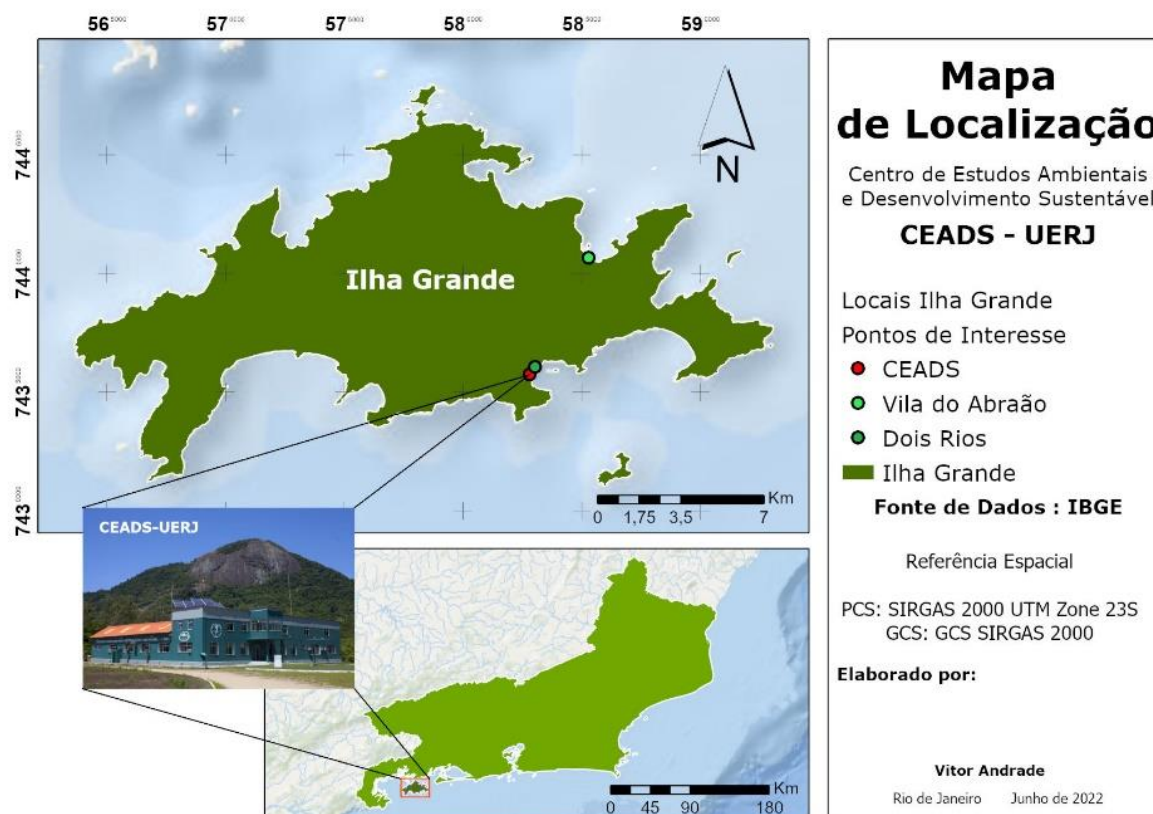


Figura 1: Localização e fotografia do CEADS na Vila Dois Rios – Ilha Grande, sul do estado do Rio de Janeiro.

O Ecossistema Engenheirado foi projetado para atender, em média, 14 habitantes, com uma contribuição *per capita* de $87 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (regime de alojamento) e uma vazão média de 1250 L.d^{-1} (52 L.h^{-1}), ocupando uma área de 25 m^2 (SALOMÃO, 2010; SALOMÃO et al., 2012).

O arranjo tecnológico (Figura 2) é composto por duas linhas: 1) tratamento convencional seguido de 2) tecnologia ecológica:

- Linha 1: Caixa de gordura + tanque séptico de fluxo ascendente + filtro aerado submerso + biofiltro misto.
- Linha 2: WC1 de fluxo superficial com a macrófita *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) – Aguapé + TA - tanque de algas + WC2 de fluxo subsuperficial com *Typha domingensis* (Typhaceae) – Taboa + WC3 de fluxo subsuperficial com gramíneas.

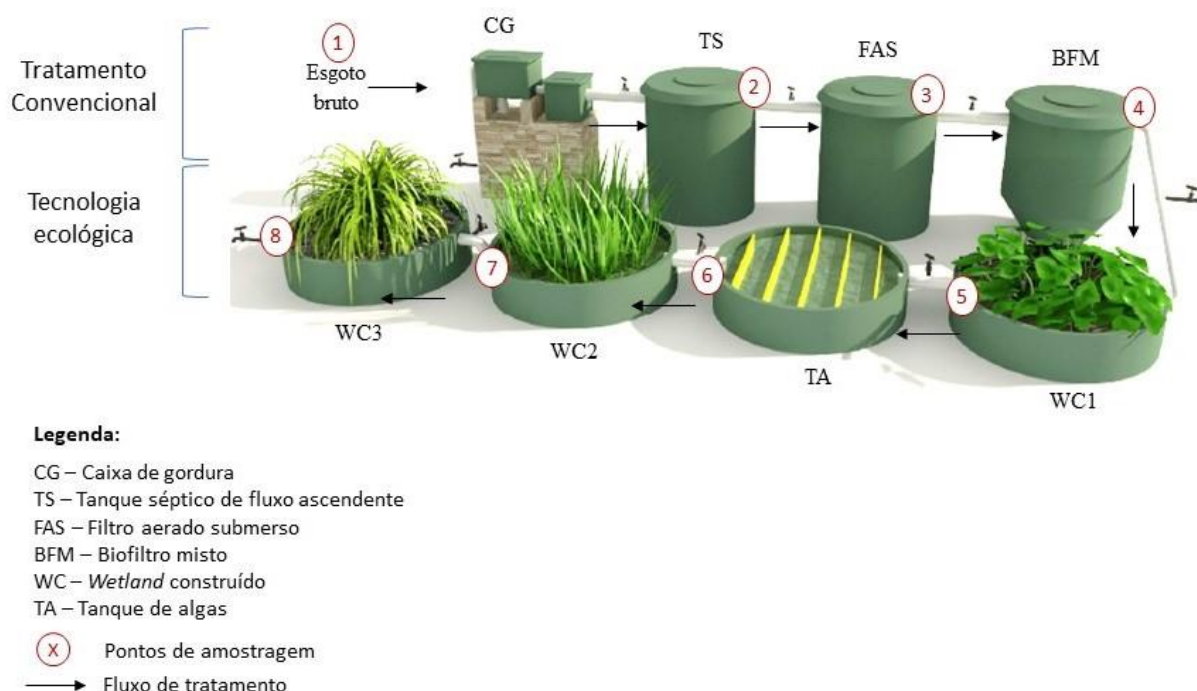


Figura 2: Representação gráfica do Ecosistema Engenheirado.

As unidades de tratamento combinam tratamento convencional com caixa de gordura (CG), tanque séptico de fluxo ascendente (TS), filtro aerado submerso (FAS) e biofiltro misto (BFM) seguido de tecnologia ecológica, com 3 wetlands construídos, o primeiro com fluxo superficial com a macrófita *Eichhornia crassipes* (*Pontederiaceae*) – Aguapé (WC1), seguido de um tanque de algas (TA), o segundo WC com fluxo subsuperficial com *Typha domingensis* (*Typhaceae*) – Taboa (WC2) e o terceiro alagado com fluxo subsuperficial com gramináceas locais (WC3).

Para a avaliação do desempenho do EE, foi realizado o monitoramento de 8 pontos (bruto e as 7 saídas subsequentes, Figura 2), em 4 campanhas de monitoramento entre novembro/22 e fevereiro/23. Os parâmetros físico-químicos foram analisados em dois grandes grupos:

- Nos 8 pontos: Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - em função da Demanda Química de Oxigênio (DQO) - e Sólidos Suspensos Totais (SST) segundo metodologias descritas por APHA (2012).
- Em 5 pontos (1, 3, 4, 6, 8): Nitrogênio Total - N_{tot} (calculado), e Fósforo Total - P_{tot} (Kits de análises Hach aprovados por USEPA). O N_{tot} foi calculado pela soma das formas de nitrogênio [Amônia (TNT 832, faixa de 2-47 $mg.L^{-1} NH_3^{-}$); Nitrito (TNT 839, faixa de 0,015-0,6 $mg.L^{-1} NO_2^{-}$); e Nitrato (TNT 835, faixa de 0,23-13,5 $mg.L^{-1} NO_3^{-}$)]. O P_{tot} pelo kit TNT 845 (faixa 2-20 $mg.L^{-1} PO_4^{-}$).

Para verificar a eficiência de tratamento, foi utilizada a legislação vigente no estado do Rio de Janeiro, a NOP INEA 45/2021, que estabelece os critérios e padrões para lançamento de esgoto sanitário em corpos receptores, com limites de: pH (5 – 9), DBO (< 120 mg/L), SST (< 120 mg/L), N-Amoniacal (< 20 mg/L) e Fósforo Total (< 4 mg/L) (RIO DE JANEIRO, 2021).

Além dos parâmetros físico-químicos, foi feito o monitoramento da produção de biomassa dos tanques de Wetlands Construídos e de Algas. A determinação da biomassa seca produzida pelos WCs e TA foi realizada em 5 passos conforme apresentado na Figura 3, sendo:

1. Coleta de subamostras das macrófitas (poda ou unidade) e algas (50 mL);
2. Pesagem biomassa úmida das macrófitas e filtração e pesagem das algas (fibra de vidro, 0,7 µm);
3. Secagem em estufa à 65°C (macrófitas) e 105°C (algas), até que fosse atingido peso constante em 2 pesagens consecutivas;
4. Pesagem biomassa seca; e
5. Pesagem da biomassa úmida produzida nos tanques WC (por altura ou área ocupada) e medição do volume do tanque de algas, para estimativa da biomassa produzida no período. Posteriormente, foi realizada a proporção do peso da biomassa seca da subamostra com o peso da biomassa úmida dos tanques, para encontrar o peso da biomassa seca total.

A contribuição dos WC e TA para a redução da carga orgânica e dos nutrientes foi avaliada baseada na metodologia proposta por Salomão et al. (2012), considerando conjuntamente WC1+TA e WC2+WC3. Para verificar a contribuição da biomassa na redução da carga orgânica e dos nutrientes foram usadas taxas de incorporação de biomassa apresentadas na literatura.

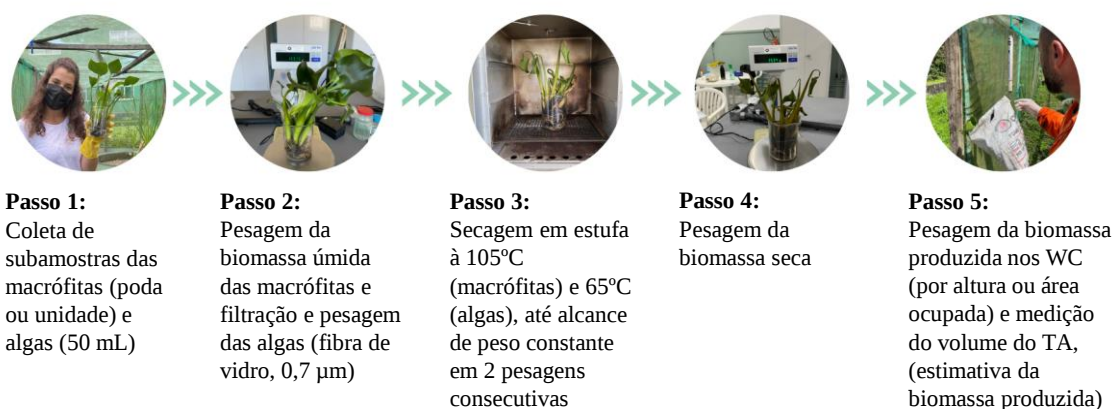


Figura 3: Avaliação da biomassa produzida nos wetlands construídos e no tanque de algas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O efluente final do EE apresentou qualidade satisfatória em grande parte das campanhas, alcançando os limites estabelecidos pela legislação vigente, exceto para remoção dos nutrientes (Tabela 1). As melhores eficiências globais de redução da DBO foram de 84% na campanha de fev/23. Já para o SST a eficiência de remoção foi de 88% e 39% de Amônia, ambos na campanha de nov/22, desempenho semelhante ao apresentado pelos sistemas de Salomão (2010) e Almeida et al. (2007).

Tabela 1: Valores mínimos – máximos de cada tanque de tratamento do Ecossistema Engenheiro analisados de nov/22 a fev/23.

Pontos/ Parâmetros	pH	OD (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	SST (mg L ⁻¹)	Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	Fósforo total (mg L ⁻¹)
BR (1)	6,1 – 6,8	0,1 – 0,1	163 – 356	112 – 148	30,9 – 43,9	9,7 – 20,6
FS (2)	6,0 – 7,1	0,1 – 0,2	279 – 487	136 – 637	-	-
FAS (3)	6,8 – 8,0	2,1 – 2,7	59 – 94	33 – 125	35,9 – 47,4	14,0 – 18,2
BFM (4)	7,0 – 8,1	0,1 – 0,4	60 – 178	24 – 102	36,6 – 52,3	15,6 – 21,3
WC1 (5)	6,8 – 7,8	4,8 – 4,8	45 – 157	21 – 96	-	-
WC2 (6)	6,8 – 8,2	0,1 – 1,9	39 – 145	32 – 120	44,1 – 54,4	-
TA (7)	6,9 – 7,9	0,1 – 2,2	39 – 141	9 – 31	-	13,1 – 22,5
WC3 (8)	6,0 – 7,3	0,1 – 1,9	30 – 135	6 – 46	20,1 – 42,1	15,3 – 24,4

Segundo Vymazai (2002), os WC de fluxo subsuperficial, geralmente, apresentam altas eficiências na redução da carga orgânica e de SST do que aquelas observadas nas unidades de fluxo superficial. No presente estudo, observou-se também este resultado para ambos os parâmetros, com melhor desempenho no tanque WC3 (fluxo subsuperficial com gramíneas), o qual apresentou a melhor eficiência de redução de DBO e SST comparado com os demais WCs do sistema.

Com relação aos nutrientes, as eficiências de remoção foram menores quando comparadas às de DBO e SST. Para o nitrogênio total, observou-se baixas taxas de remoção, sendo de 20,1 a 42,1 mg L⁻¹ no efluente final. Esse resultado indicou que os processos de nitrificação e desnitrificação não estavam ocorrendo conforme o esperado, principalmente devido as recorrentes quedas de energia elétrica, que deixaram o sistema sem aeração, limitando as atividades aeróbias. Comportamento semelhante foi verificado por Freitas (2011), já no trabalho de Salomão (2010), um sistema equivalente apresentou resultados satisfatórios, em razão das concentrações ideais de OD e tempo de contato adequado no FAS para promoção da nitrificação.

Ao longo dos processos de tratamento não houve variações significativas de remoção do fósforo total, tendo taxas de 15,3 a 24,4 mg L⁻¹ no efluente final. As principais rotas de remoção deste composto no EE seriam predominantemente pela biomassa aderida no FAS, pelas macrófitas dos WCs e pelas algas, como apresentado por Salomão (2010). No entanto, a utilização de produtos de limpeza no CEADS sem a correta diluição e com altas concentrações de fósforo, podem ter influenciado as altas concentrações do afluente do sistema (esgoto bruto). Além disso, outros estudos também relataram que a remoção do fósforo ainda é um grande desafio para os sistemas biológicos (KAVANAGH & KELLER, 2007; FREITAS, 2011).

Em relação à participação das macrófitas no processo, estas foram importantes na retenção de poluentes, uma vez que se apresentaram adequadas para absorção e fixação de carbono e de nutrientes na biomassa produzida. Isto se deu em função da produção de biomassa diária e dos processos fisiológicos vitais intrínsecos. Na Tabela 2 foi apresentado o balanço de massa dos tanques alagados, para os três constituintes envolvidos no estudo (carbono, nitrogênio e fósforo), removidos exclusivamente por macrófitas, por outros mecanismos e a soma entre eles (redução total).

Tabela 2: Balanço de massa (Carbono - C, Nitrogênio - N e Fósforo - P) dos tanques alagados.

Unidades de Tratamento	Taxa de crescimento da biomassa (g m ⁻² dia ⁻¹)	Taxa incorporação de acordo com a literatura (mg g ⁻¹)	Redução pelas macrófitas (g dia ⁻¹)	Redução por outros processos (g dia ⁻¹)	Redução total nos tanques WC1 + TA + WC2 e WC3 (g dia ⁻¹)
WC1 - <i>Eichhornia crassipes</i> (<i>Pontederiaceae</i>) – Aguapé n = 4	35,11	C	425	30,74	17,64
		N	42,8	3,10	1,30
		P	6,5	0,47	0,07
TA - Algas n = 4	0,59	C	800	0,98	0,42
		N	150	0,18	2,60
		P	20	0,02	0,15
WC2 - <i>Typha domingensis</i> (<i>Typhaceae</i>) – Taboa n = 4	3,91	C	396	3,19	8,26
		N	14,6	0,12	0,80
		P	2,6	0,02	0,23
WC3 - Gramíneas n = 4	0,80	C	410	0,67	0,00
		N	23,7	0,04	1,60
		P	5,7	0,01	0,45
Biomassa total	40,41	C	-	35,58	26,32
		N	-	3,44	6,30
		P	-	0,52	0,90

A contribuição conjunta dos 4 tanques alagados para redução de matéria orgânica na forma de DBO foi de 26,32 g dia⁻¹, para nitrogênio foi de 6,30 g dia⁻¹ e para fósforo 0,60 g dia⁻¹. O tanque que apresentou maior eficiência de redução de matéria orgânica e nutrientes foi o de Aguapé (WC1), com taxas de 30,74 g C dia⁻¹, 3,10 g N dia⁻¹ e 0,47 g P dia⁻¹, devido à grande capacidade de assimilação e de estocagem de nutrientes dissolvidos no efluente, além da contribuição da raiz alongada desta macrófita (LIMA, 2005). Vale mencionar que a capacidade de remoção de DBO no tanque de aguapé foi maior do que o valor reduzido pelo conjunto dos tanques, o que pode ser explicado pelos processos de fotossínteses naturais (não avaliados neste trabalho) e sinaliza que o sistema não operou em sua plena eficiência, podendo obter resultados ainda mais promissores.

Os 4 tanques de WCs e TA em conjunto possuem uma área superficial total de 8,2 m² e apresentaram uma taxa média de crescimento total de biomassa de 40,41 g m⁻² dia⁻¹, tendo como maior taxa de crescimento o tanque de Aguapé (WC1), com 35,11 g m⁻² dia⁻¹. O desempenho do EE em relação às taxas de remoção foi superior no estudo de Salomão et al. (2012) e Freitas (2011), isto se deu, principalmente, em função da periodicidade menor de poda das macrófitas, já que o período para atingimento do ponto de saturação das plantas é na faixa de 14 e 21 dias, após as taxas de absorção diminuem (ESTEVES, 1998).

CONCLUSÕES

O sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos, Ecossistema Engenheirado, alcançou eficiência satisfatória, apresentando efluente com concentrações de DBO e SST dentro dos limites estabelecidos pela legislação do estado do Rio de Janeiro, ficando somente os nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) com valores um pouco acima dos padrões de lançamento.

A contribuição dos tanques alagados do EE para remoção da carga orgânica e de nutrientes (N e P) pela produção diária de biomassa nos tanques vegetados e de algas foi comprovada com as taxas de remoção encontradas no estudo, confirmando a relevante contribuição das macrófitas e algas no tratamento dos esgotos domésticos.

Devido às condições climáticas, o Brasil pode ser considerado um lugar favorável ao desenvolvimento de tecnologias que envolvam macrófitas, como os *wetlands* construídos e os tanques de algas (ficorremediação). Esta pode ser a explicação para o desempenho do EE estudado, que se encontra em região com condições ambientais adequadas (clima, radiação solar, fotoperíodo etc.) e teve o manejo frequente de biomassa, otimizando o espaço e mantendo o crescimento das macrófitas dentro de uma taxa ideal (crescimento primário).

Por fim, conclui-se que o modelo de tratamento descentralizado de esgoto doméstico aplicando o conceito de Ecossistema Engenheirado, com a combinação de soluções de tratamento de esgotos convencionais com as baseadas na natureza (autodepuração controlada), apresenta-se como uma alternativa potencial para alcançar a universalização do saneamento em áreas isoladas. Ainda, a descentralização do tratamento de esgotos, pode ser uma alternativa econômica do ponto de vista de investimentos em grandes redes de coleta de efluentes e pode servir de referência para aplicação em outros locais com características semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. **Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 37, n. 1. 1-9 p. 2007.
2. ANA, Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2020.
3. APHA; AWWA & WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed.
4. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p
5. FREITAS, T.R. **Desempenho de tanques vegetados em um ecossistema engenheirado para tratamento descentralizado de esgotos domiciliares na Ilha Grande, RJ**. Dissertação de Mestrado. UERJ. 127p. 2011.
6. HONORATO, L.M.C., D'EÇA, N.F.G., SANTOS, A.S.P., SALOMÃO, A.L.S. **Tratamento descentralizado de esgoto doméstico: revisão sistemática**. Revista DAE, v. 69, n. 233, 2021
7. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

8. ISMAIL, Z., OTHMAN, S.Z., LAW, K.H., SULAIMAN, A.H. AND HASHIM, R. **Comparative Performance of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) in Preventing Nutrients Build-up in Municipal Wastewater**. *Clean Soil Air Water*, v.43, Issue 4 p. 521-531, 2015.
9. KAVANAGH, L. J.; KELLER J. **Engineered ecosystem for sustainable on-site wastewater treatment**. *Water research*, v. 1. 823-831 p. 2007.
10. LIMA, M. R.; REISSMANN, C. B.; TAFFAREL, A. D. **Fitorremediação com macrófitas aquáticas flutuantes**. In: Andreoli, C. V.; Carneiro, C. (ed.) *Gestão integrada de mananciais eutrofizados*. Curitiba: Gráfica Capital Ltda., 2005.
11. ONU – Organização das Nações Unidas. Department of Economics and Social Affairs. **Sustainable Development – the 17 Goals**. Disponível em: < <https://sdgs.un.org/goals> > Acesso em: 21 de jan. 2023.
12. PELISSARI, C., SEZERINO, P.H., BENTO, A.P., JUNIOR, O. DE C., DECEZARO, S.T., WOLFF, D. B. **Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em wetlands construídos**. *Eng. Sanit. e Amb.* 2019, v. 24, n. 03, 2019.
13. RIO DE JANEIRO. NOP-INEA-45 - **Estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário**. RJ, 2021.
14. SAEED, T., SUN, G., 2017. **A comprehensive review on nutrients and organics removal from different wastewaters employing subsurface flow constructed wetlands**. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 47 (4), 203–288.
15. SALOMÃO, A.L.S. **Ecosistema engenheirado no tratamento descentralizado de águas residuárias de pequenos geradores: a engenharia ecológica na Ilha Grande, RJ**. Dissertação de Mestrado. UERJ. 166p. 2010.
16. SALOMÃO, A.L.S. et al. **Engineered ecosystem for on-site wastewater treatment in tropical areas**. *Water Science and Technology*, v.66, n.10, 2012.
17. SAEED, T. et al. **Influence of electrodes and media saturation in horizontal flow wetlands employed for municipal sewage treatment: A comparative study**. *Environmental Technology & Innovation* 25, 102160, 2022.
18. USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2005. **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems**, EPA/832-B-05-001. Washington, DC, 66 pp, 2005.
19. VYMAZAL, J., 2002. **The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years' experience**. *Ecol. Eng.* 18 (5), 633–646.