



31 - 01 | 2026

EFICIÊNCIA DE HELICÓNIA PSITTACORUM NO TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS DA UNIVERSIDADE KIMPA VITA, ANGOLA

Efficiency of *Heliconia psittacorum* in the treatment of wastewater from Kimpa Vita University, Angola

Eficiencia de *Heliconia psittacorum* en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Kimpa Vita, Angola

Mampuya Kinda Fidele¹ | Lucau Micael Nzuzi² | Nsenga Kamalekilua³

¹Professor Doutor em Controlo, Optimização e Prospectiva, Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, ORCID 0000-0002-3114-5179, fmkinda@yahoo.fr

²Engenheiro em Hidráulica e Saneamento das águas, Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, ORCID 0009-0002-1571-7074, lucaumicael@gmail.com

³Finalista em Licenciatura de Engenharia Hidráulica e Saneamento das Águas, Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, nsengakamalekilua2@gmail.com

Autor para correspondência: fmkinda@yahoo.fr

Data de recepção: 25-06-2025

Data de aceitação: 01-07-2025

Data da Publicação: 31-01-2026

Como citar este artigo: Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). *Eficiência de Helicónia Psittacorum no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola*. ALBA – ISFIC Research and Science Journal, 2(10), pp. 155-170. <https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/14>

RESUMO

O presente estudo avalia a utilização de macrófitas locais em sistemas de tratamento de águas residuais domésticas de fluxo vertical em clima tropical, com foco no desempenho depuratório de *Heliconia psittacorum*, espécie autóctone da região Norte de Angola, aplicada a efluentes domésticos em contextos periurbanos e rurais, tomando como caso a Universidade Kimpa Vita. Ensaio realizados com tempos de retenção de 24 horas e 7 dias não revelaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) para CBO₅, SST e NTK, embora se observassem variações nas taxas teóricas de remoção; já a CQO apresentou diferença significativa ($p < 0,05$). A ausência de remoção de coliformes totais, *Escherichia coli* e enterococos no período de 24 horas gerou diferenças significativas ($p < 0,05$) a favor do período de 7 dias, evidenciando que a eficiência depuratória depende de maior tempo de contacto entre o efluente e a biomassa microbiana. A espécie *H. psittacorum* revelou

ainda boa condutividade hidráulica, atribuída ao desenvolvimento das raízes e rizomas, permitindo ao sistema suportar sobrecargas hidráulicas.

Palavras-chaves: Eficiência, *Helicónia psittacorum*, tratamento das águas residuais, Universidade Kimpa Vita.

ABSTRACT

This study evaluates the use of local macrophytes in vertical flow domestic wastewater treatment systems in a tropical climate, focusing on the treatment performance of *Heliconia psittacorum*, a native species of the Northern region of Angola, applied to domestic effluents in peri-urban and rural contexts, using Kimpa Vita University as a case study. Tests conducted with retention times of 24 hours and 7 days did not reveal statistically significant differences ($p > 0.05$) for BOD₅, TSS, and NTK, although variations in theoretical removal rates were observed; however, COD showed a significant difference ($p < 0.05$). The absence of removal of total coliforms, *Escherichia*

Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). Eficiência de *Heliconia psittacorum* no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola

coli, and enterococci over the 24-hour period resulted in significant differences ($p < 0.05$) in favor of the 7-day period, indicating that treatment efficiency depends on a longer contact time between the effluent and the microbial biomass. The species *H. psittacorum* also showed good hydraulic conductivity, attributed to the development of roots and rhizomes, allowing the system to withstand hydraulic overloads.

Keywords: Efficiency, *Heliconia psittacorum*, wastewater treatment, Kimpa Vita University.

RESUMEN

El presente estudio evalúa la utilización de macrófitas locales en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas de flujo vertical en clima tropical, con enfoque en el desempeño depurativo de *Heliconia psittacorum*, especie autóctona de la región Norte de Angola, aplicada a efluentes domésticos en contextos periurbanos y rurales, tomando como caso la Universidad Kimpa Vita. Ensayos realizados con tiempos de retención de 24 horas y 7 días no revelaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para DBO₅, SST y NTK, aunque sí se observaron variaciones en las tasas teóricas de remoción; en cambio, la DQO presentó diferencia significativa ($p < 0,05$). La ausencia de remoción de coliformes totales, *Escherichia coli* y enterococos durante el período de 24 horas generó diferencias significativas ($p < 0,05$) a favor del período de 7 días, evidenciando que la eficiencia depurativa depende de un mayor tiempo de contacto entre el efluente y la biomasa microbiana. La especie *H. psittacorum* mostró además una buena conductividad hidráulica, atribuida al desarrollo de las raíces y rizomas, lo que permite que el sistema soporte sobrecargas hidráulicas.

Palabras clave: Eficiencia, *Heliconia psittacorum*, tratamiento de aguas residuales, Universidad Kimpa Vita.

Contribuição de autoria (por autor): Cada autor deverá preencher sua contribuição no artigo

Autor 1: Orientador da pesquisa, Coordenador de autoria, Conselheiro geral sobre o tema abordado, Verificador de texto, correção do artigo, dos resultados, tratamento de dados estáticos no SPSS, Revisor de normas bibliográficas, Decisor da versão final do conteúdo, da apresentação dos resultados e conclusões achadas de pesquisa.

Autor 2: Acompanhamento do Autor 3 no terreno durante o carregamento dos filtros, conselheiro do Autor 3, análises físico-químicas das águas residuais, preparação e redacção da versão inicial do manuscrito, analisar, discutir dos resultados preliminares com Autor 3, textos, transposição de imagens, criação de gráficos, tabelas.

Autor 3: Responsável da ideia de trabalho do fim do Curso transformado onde se tirou o artigo científico, redacção das ideias de pesquisa, carregamento dos filtros no piloto experimental, análises das amostras no labo na Universidade, transportador das amostras no laboratório para análises químicas e microbiológicas, criação de tabelas, figuras, gráficos junto com Autor 2, etc.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida na Terra, mas não tem sido cuidada na mesma proporção de sua importância. A degradação de corpos hídricos é um sério problema que está se agravando devido ao aumento da população mundial e à prática de actividades potencialmente poluidoras (Barszcz et al., 2019).

Actualmente, os países em desenvolvimento do mundo conhecem o problema de manutenção e preservação do meio Ambiente. Angola, país da África austral, foi assolado por uma guerra fratricida durante quase três décadas que destruiu a rede de abastecimento de água potável e de saneamento básico (MK & P, 2020). Esses últimos anos, o governo angolano investiu fundos importantes para o acesso à água potável e saneamento seguro nas zonas urbanas do país, mas os níveis de acesso permaneceram muito baixos, e os dados mostram que seu progresso seguiu uma trajetória em forma de serra. O financiamento do sector foi focalizado na construção de grandes infraestruturas (depuração clássica), com menor atenção à



formação de recursos humanos que, em princípio, permanecem o segundo foco para a perenidade de funcionamento das infra-estruturas construídas e, a visibilidade e valorização das acções do Governo nesse sector (UNICEF & ADRA, 2016).

Segundo (Koné, 2002) as técnicas de depuração clássicas como lamas activadas e camas bacterianas, representavam 75 % de 155 estações instaladas em África do Oeste e Central, estão em disfuncionamento. Torna-se necessário de implementar as tecnologias de tratamento de efluentes domésticos, mais fiáveis, robustas, económicas, que se dissimulam na paisagem natural da região e adaptadas aos países em desenvolvimento.

O interesse aqui é relacionado ao sistema de tratamento das águas residuais por filtros plantados de macrófitas, que nasceu no princípio dos anos 1950, com os trabalhos de K. Siedel (Boutin & Dutartre, 2014). De acordo com (Boutin et al., 2000), esse sistema é emergente essas últimas décadas, aplicado às pequenas e médias colectividades de 50-2 000 equivalentes populacionais. Também, é utilizado no saneamento não colectivo e adaptado às condições climáticas temperadas e tropicais (Alexandre et al., 1998 ; Kone et al., 2012; Eme, 2012). O estudo da eficiência das séries de macrófitas locais de Angola, adaptadas ao clima tropical, enquadra-se nessa óptica e traz mais benefícios técnicos e económicos na região (custos de construção e manutenção reduzidos).

O presente estudo insere-se no âmbito da eficiência de *Helicónia psittacorum* no tratamento das águas residuais domésticas por leitos construídos de macrófitas. O objectivo geral é de comparar a qualidade do efluente tratado por um piloto de leito coberto de *Helicónia psittacorum*, vegetal local, a

partir da variação de tempos de estadia, a fim de escolher o tempo de melhor eficiência para degradar as águas residuais domésticas na zona tropical.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A experiência foi realizada na estação piloto de filtração com leitos construídos de macrófitas localizada na Universidade Kimpa Vita (UNIKIVI), no Uíge em Angola (Fig. 1), região com clima quente e húmido, com uma precipitação anual máxima de 1 600 mm (Março e Abril) e uma média anual de 1 400 mm. A temperatura média anual é de 22,9° C. A temperatura máxima é de 28,9 °C entre Abril e Maio, com uma mínima de 13,2 °C entre Julho e Agosto (GPU, 2012).

O experimento é composto de seis bacias em polietileno de capacidade unitário de 250 L. Cada bacia é formada de três camadas de gravilhas. A camada de drenagem (no fundo) tem 20-40 mm de granulometria sobre uma espessura de 0,200 m, a camada de transição (no meio) com 3-20 mm de granulometria sobre uma espessura de 0,100 m e a camada de filtração (acima) tem 2-8 mm de granulometria, sobre uma espessura de 0,200 m. As bacias apresentam cada, um diâmetro de 0,600 m, uma altura activa de 0,750 m e uma superfície de 0,283 m².

Para esse ensaio, foi utilizado o primeiro estágio do piloto que tem três bacias brancas. A bacia branca na esquerda (P1) é coberta de *Helicónia psittacorum* com uma densidade de 49 plantas/m². As duas bacias de lado ao (P1) não foram utilizadas nessa fase de experiência trata-se, da bacia do meio (P2) sem vegetal e da bacia da extremidade direita

Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). Eficiência de *Helicônia Psittacorum* no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola coberta de *Canna indica* (P3) com a densidade de 71 plantas/m².

Figura 1

Experimento de filtração a *Heliconia psittacorum* vegetal local do Uíge, Angola



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

O filtro foi alimentado por alternância com 100 L.d⁻¹ (Fevereiro a Abril 2025), com uma frequência regular de uma vez por semana, com águas residuais da UNIKIVI. O tempo de repouso foi de uma semana. O fluxo percola por gravidade através dos substratos, as águas tratadas foram recolhidas através de um dreno, na base da bacia e, em seguida, descarregadas num buraco de infiltração, localizado na lateral esquerda das bacias, cobertas de *Canna indica*, e serve para melhorar a degradação do efluente de descarga do sistema de filtração. O reservatório é um bidão em polietileno de 250 L, que abastece as bacias por gravidade. As mudas de *Helicônia psittacorum* foram colectadas no meio natural do Uíge, plantadas no mês de Fevereiro de 2025, não sofreram tanto estresse hídrico em relação à *Canna indica* entre Fevereiro e Março, período que se caracterizou com elevada temperatura e poucas chuvas (Fig. 1). Dez dias depois, as

mudas de *Helicônia* começaram a brotar. O tecido folhar das mesmas melhorou após um mês.

Para otimizar os resultados das análises laboratoriais, foram utilizados a ferramenta estatística IBM SPSS Statistics 21 e o ficheiro Excel (*Microsoft 365*). As imagens das macrófitas locais foram documentadas por fotografia (Canon 10 x Optical Zoom).

Métodos

Determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos

As amostras das águas brutas e tratadas foram submetidas a um protocolo caracterizado para as medições dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para aferir das suas qualidades. Na mesma ocasião, foram registados o tempo de infiltração e a lâmina do efluente bruto.

A temperatura (θ), o potencial de hidrogénio (pH) e a condutibilidade eléctrica (CE) foram determinados usando a sonda multiparamétrica HANNA EDGE, modelo HI 2020-02, e a sonda de temperatura HI 11310. O Nitrogénio total de Kjeldahl foi determinado pelo método AFNOR T90-110. O Nitrogénio Orgânico foi mineralizado em Nitrogénio Amoniacal por Ácido Sulfúrico na presença de catalisador, com uso do espectrofotómetro HANNA HI 801. A Carência Bioquímica em Oxigénio durante cinco dias (CBO₅) foi determinada pelo método manométrico baseado no princípio de Warburg (AFNOR T90-103). A Carência Química em Oxigénio (CQO) foi determinada pelo método AFNOR T90-101, utilizando um espectrofotómetro HANNA



Iris HI 801, por oxidação da matéria orgânica da amostra a 150°C pelo excesso de dicromato de potássio quente e ácido, na presença de sulfato de prata. O excesso de dicromato de potássio foi determinado por colorimetria a 620 nm. Os Sólidos Suspensos Totais (SST) foram determinados filtrando um volume de efluente em filtros celulósicos a vácuo, malha de 0,45 µm, de acordo com as normas francesa (AFNOR T90-105). A pesquisa e contagem de Coliformes Totais, *Echerichia Coli* e *Enterococcus* são realizadas pelos métodos IDEXX colibert-18 e Quanti-Tray (ISO 9308-2)(MK & P, 2020).

Os resultados das análises das amostras vindos do laboratório AmbiAfrica foram tratados por Excel (Microsoft 365) e com a ferramenta estatística SPSS 21. A normalidade dos dados foi testada com Shapiro-Wilk, e o teste U de Mann-Whitney foi aplicado para comparar as duas qualidades de filtrados obtidas em dois períodos de retenção diferentes do efluente no filtro construído de *Heliconia psittacorum*. A probabilidade de significância admitida designada por “valor $p = 5\%$ ” para todos os testes. Pelo que, as diferenças entre as médias, só são consideradas significativas quando “valor $p < 0,05$ ”; caso “valor $p > 0,05$ ”, elas não são significativas (Mavioso, 2010). Os resultados foram apresentados em forma de tabelas e gráficos, e de igual modo, as imagens de macrófitas foram documentadas por fotografias.

Levantamento das amostras

O levantamento das amostras foi realizado duas vezes por mês durante 2 meses (Fevereiro-Abril de 2025) da seguinte

maneira: levantamento da amostra do efluente bruto na saída do tanque alimentando a bacia piloto, seguido de duas amostras de filtrados recolhidos na saída dos mesmos filtros pilotos, uma após 24 horas do dia de carregamento e, outra após 7 dias de estadia. Sobre as 12 amostras levantadas no final de Fevereiro até princípio de Abril, foram efectuadas 96 análises, a razão de 8 análises por amostra. As amostras, após o levantamento no Campus Universitário, foram encaminhadas para análises físico-químicas e microbiológicas no laboratório da Empresa AmbiÁfrica⁶¹.

Hidráulica de camas

O funcionamento hidráulico do sistema de filtração permite acompanhar a evolução do tempo de infiltração que uma lâmina de efluente bruto de 0,12 m leva a escoar e desaparecer da superfície do substrato. Tomou-se também em consideração do volume total de água fornecido durante o tempo de residência ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e da quantidade de água perdida por evapotranspiração dos macrófitas durante o tratamento, esses, expressam-se em percentagem, e calculado da seguinte maneira (Ouattara et al., 2008).

$$Q = \frac{V_e}{t} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, Q é o caudal de infiltração ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$); V_e é o volume do efluente irrigado no filtro (mL); t é o tempo de infiltração (min).

⁶¹ Empresa sediada em Luanda - Angola exercendo as actividades no domínio do meio ambiente, tais como

tratamento de água, gestão de resíduos e sistemas de produção de energias próprias.

RESULTADOS

O efluente bruto da Universidade Kimpa Vita (UNIKIVI) do mês de Fevereiro até Abril de 2025 apresentou os valores médios a tendência básico ($\text{pH} = 8,13 \pm 0,22$) e biodegradável ($\text{CQO/CBO}_5 = 2,47 < 3$) (Apêndice 1, Tab. 2) (Bourrier et al., 2017). Os parâmetros clássicos são a temperatura ($22,13 \pm 0,85$) °C, CQO ($163,50 \pm 36,24$) mg $\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, CBO_5 ($71,50 \pm 30,03$) mg $\text{O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, SST ($184,25 \pm 92,78$) mg $\cdot\text{L}^{-1}$, NTK ($61,25 \pm 37,93$) mg $\cdot\text{L}^{-1}$, a CE ($592,50 \pm 141,53$) $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, os Coliformes totais ($> 2\,420,00 \pm 0,00$) UFC.100 mL^{-1} , a *Echerichia Coli* ($> 2\,420,00 \pm 0,00$) UFC. 100 mL^{-1} e os Enterococos ($> 2\,420,00 \pm 0,00$) UFC.100 mL^{-1} .

Funcionamento hidráulico dos filtros

Os filtros plantados foram carregados uma vez por semana com um tempo de repouso de sete dias. O volume total de irrigação foi de 400 L durante o período de ensaio. De acordo com a tabela 1, o filtro plantado de *Helicônia psittacorum* apresentou um tempo médio de infiltração de 22,71 min graças às raízes e rizomas do vegetal mais desenvolvidos. As raízes que atravessam a média filtrante porosa e a camada de lama na superfície do leito criam espaços livres para escoamento de efluente, implicando um aumento da permeabilidade hidráulica, isso permite infiltrar um volume importante de água (Fig. 1) (Liénard et al., 2005). A alternância de uma semana imposta para a irrigação e repouso do filtro permitiu ventilar a zona saturada e mineralizar do filtro. Apesar do tempo de estadia de uma semana do efluente no filtro, não houve colmatagem do mesmo. No entanto, foi observado uma perda de água importante de 343,50 L (85,88 %) na Unidade filtrante. A

tabela 1 e a figura 2 apresentam as características hidráulicas do filtro.

Tabela 7

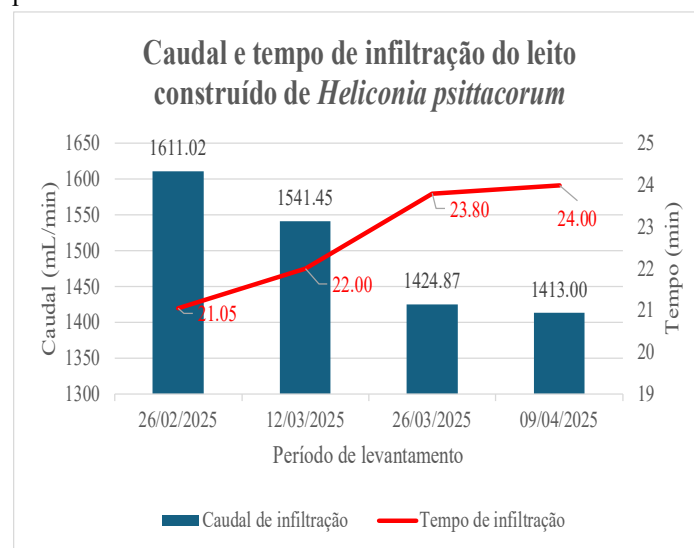
Características hidráulica do leito construído de *Helicônia psittacorum*

Sistema de filtração	Tempo médio de infiltração (min)	Volume médio restituído (L)	Caudal médio ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	Volume médio perdido (L)
P1 (Leito construído de <i>Heliconia psittacorum</i>)	22,71	56,50 (14,12 %)	1 497,59	343,50 (85,88 %)

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Figura 2

Caudal de infiltração de leito construído de *Helicônia psittacorum*



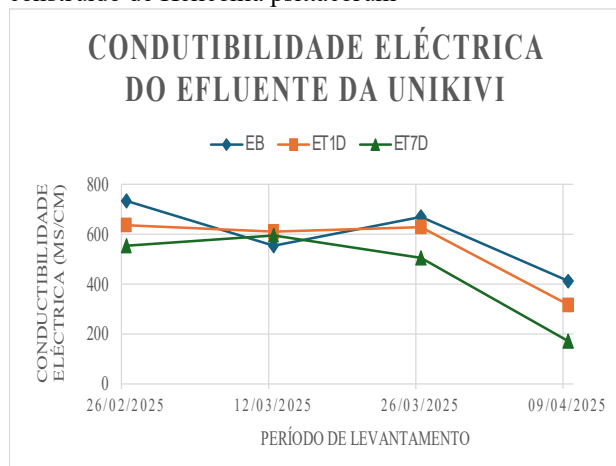
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Desempenho depuratório do filtro

Potencial de hidrogénio: O efluente bruto teve uma tendência alcalina cuja média é de 8,13, e oscilou entre 8,40 (máximo) e 7,90 (mínimo). Os filtrados dos dois períodos de retenção na bacia (P1), tiveram as basicidades oscilando entre 7,73 e 7,58 de pH.

Figura 3.

Evolução temporal da condutibilidade eléctrica do efluente bruto (EB) da UNIKIVI, filtrado após um dia (ET 1D) e filtrado após 7 dias (ET 7D) do leito construído de *Helicônia psittacorum*

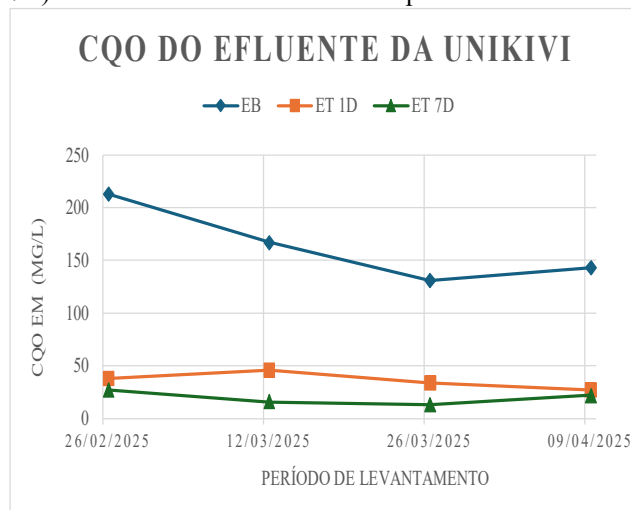


Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Condutibilidade eléctrica: O efluente bruto da Universitário Kimpa Vita teve uma condutibilidade eléctrica média de $592,50 \mu\text{S.cm}^{-1}$ correspondente, a uma temperatura média de $22,13^\circ\text{C}$. Os filtrados de 24 horas e de 7 dias apresentaram uma CE de $548,75 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $456,50 \mu\text{S.cm}^{-1}$ respectivamente.

Figura 4

Evolução temporal da concentração de carência bioquímica em oxigénio do efluente bruto (EB) da UNIKIVI e tratado após 1 dia (ET 1D) e 7 dias (ET 7D) no leito construído de *Helicônia psittacorum*

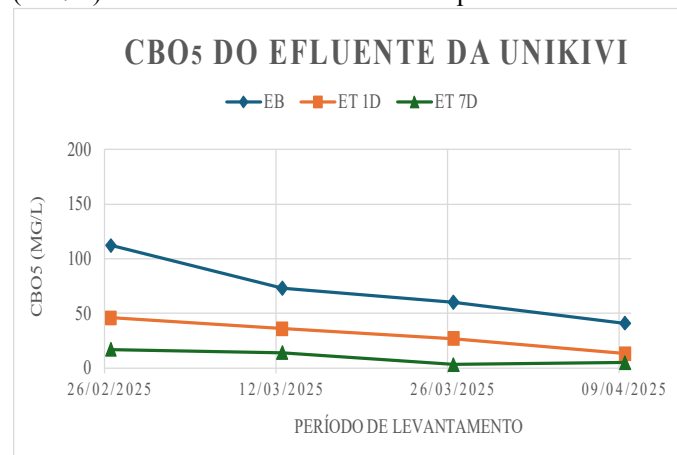


Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Carência química em oxigénio: O efluente bruto foi menos carregado durante o período de ensaio, a sua concentração em CQO na entrada do sistema de filtração teve uma média de $163,50 \text{ mg.L}^{-1}$. O pico de $213,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de 26 de fevereiro de 2025 que se observou na figura (4), resultou do aumento de número dos estudantes no Campo Universitário participando ao controlo semestral do ano académico 2024 - 2025. Essa concentração baixou em março de 2025, por diminuição de actividades académicas. A análise estatística apresentou uma diferença significativa ($p < 0,05$) na remoção de CQO entre os dois tempos de retenção (77,83 % e 88,07 %) (Fig. 9). A qualidade dos filtrados em CQO nessa situação foi diferente.

Figura 5

Evolução temporal da carência bioquímica em oxigénio em 5 dias (CBO_5) do efluente bruto (EB), filtrado após 24 horas (ET 1D) e filtrado após 7 dias (ET 7D) no leito construído de *Helicônia psittacorum*.



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

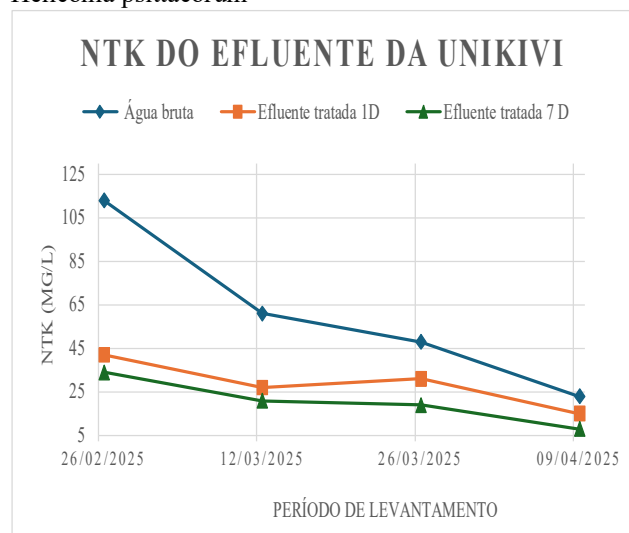
Carência bioquímica em oxigénio em cinco dias: A concentração média em CBO_5 de efluente bruto é de $71,50 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração mínima passou a $41,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e a máximo a $112,0 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de CBO_5 baixou durante todo o período de ensaio a partir de março de 2025, devido a

Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). Eficiência de *Helicônia Psittacorum* no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola

diminuição de actividades académicas intensas (Fig. 5). As remoções depuratórias em CBO₅ correspondentes não foram significativamente elevadas ($p > 0,05$) em 24 horas e em 7 dias, com taxas de 57,34 % e 86,36 % respectivamente (Fig. 9). Mesmo assim, a qualidade dos filtrados em CBO₅ da bacia (P1) não foi diferente entre os dois períodos de retenção.

Figura 6

Evolução temporal de azoto total Kjeldahl (CBO₅) do efluente bruto (EB), filtrado após 24 horas (ET 1D) e filtrado após 7 dias (ET 7D) no leito construído de *Helicônia psittacorum*



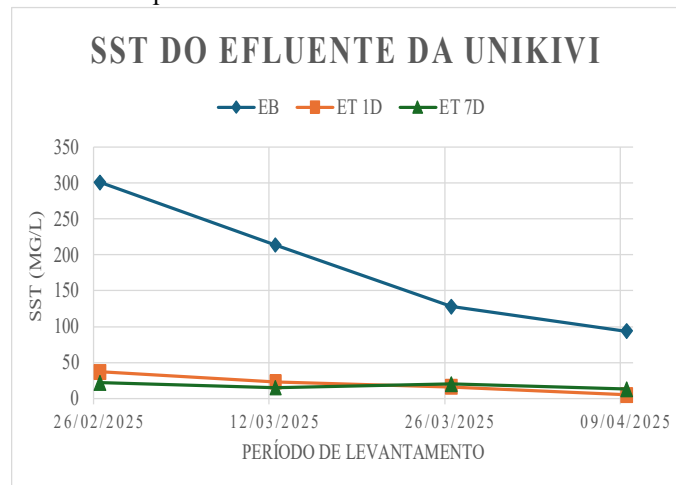
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Nitrogénio total Kjeldahl: A concentração média em NTK do efluente bruto foi de 61,25 mg.L⁻¹. Ela apresentou um pico no final de Fevereiro do ano em curso, devido do aumento de actividades académicas na Instituição (113 mg.L⁻¹), depois decresceu até ao princípio de Abril (Fig. 6). A qualidade dos filtrados provenientes da bacia (P1) durante os períodos de retenção de 24 horas e de 7 dias não são estatisticamente diferentes ($p > 0,05$), apesar da diferença notável da taxa de remoção de 53,06 % e 66,53% respectivamente.

8

Figura 7

Evolução temporal de sólidos suspensos totais (SST) do efluente bruto (EB), filtrado após 24 horas (ET 1D) e filtrado após 7 dias (ET 7D) no leito construído de *Helicônia psittacorum*

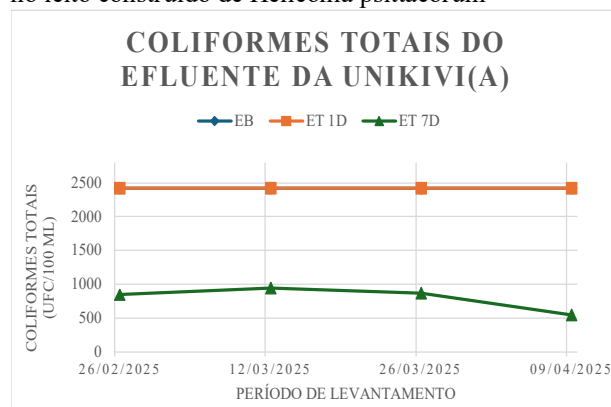


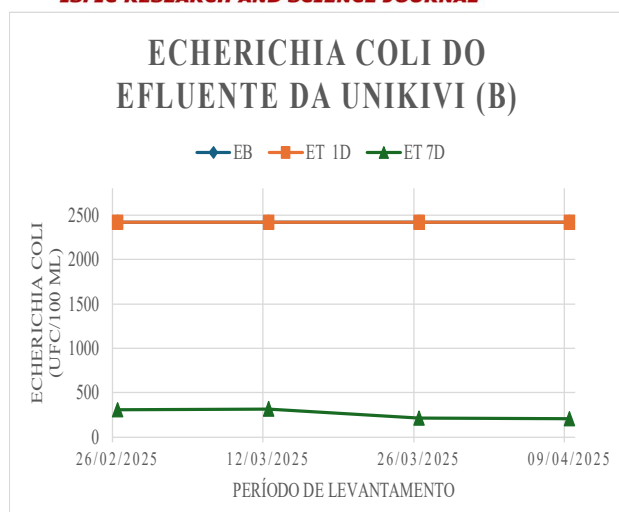
Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Sólidos suspensos totais: O efluente bruto teve uma maior concentração em SST em Fevereiro de 301 mg.L⁻¹ resultante de aumento de actividades escolares. A sua média foi de 184,25 mg.L⁻¹ (Fig. 7). A análise estatística não deu diferença significativa ($p > 0,05$) da qualidade de filtrados obtidos após 24 horas e 7 dias. As suas taxas de remoção são respectivamente (89,01 % e 90,50 %) (Fig. 9).

Figura 8

Evolução temporal de Coliformes totais (A) e *Echerichia Coli* (B) do efluente bruto (EB), filtrado após 24 horas (ET 1D) e filtrado após 7 dias (ET 7D) no leito construído de *Helicônia psittacorum*





Fonte: Elaborados pelos Autores, 2025.

A concentração do efluente bruto em matérias de Coliformes totais e *Escherichia coli* é superior a 2 420 UFC.100 mL⁻¹ respectivamente. A retenção de 24 horas não apresentou influência na redução das cargas em Coliformes totais e *Escherichia coli* do efluente bruto que, permaneceu a 2 420 UFC.100 mL⁻¹. As concentrações em Coliformes totais e *Escherichia coli* após 7 dias foram reduzidas até 800,50 UFC.100 mL⁻¹ e 260,75 UFC.100 mL⁻¹ respectivamente (Fig. 8A & 8B).

No entanto, a concentração do efluente bruto em *Enterococos* foi sempre superior a 2 420 UFC.100 mL⁻¹, e a sua situação da retenção de 24 horas não mudou, ela é similar dos coliformes totais e *Escherichia coli*. A sua concentração baixou após 7 dias de retenção ao valor médio de 562,25 UFC.100 mL⁻¹. A análise estatística confirmou a diferença significativa ($p < 0,05$) da qualidade de filtrados em coliformes totais, *Escherichia coli* e *Enterococos* produzidos após 24 horas e 7 dias.

Remoção teórica e real do leito construído de *Heliconia psittacorum*

Remoção teórica

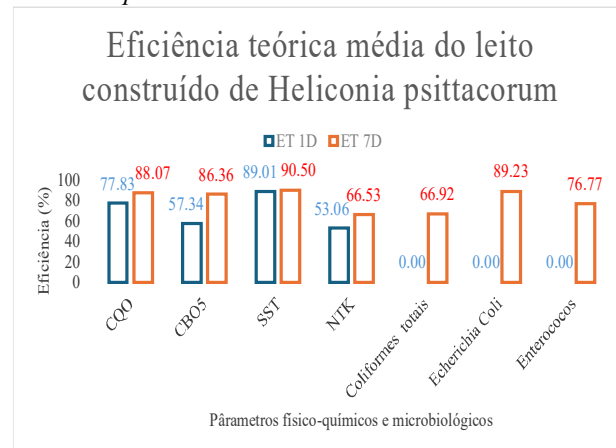
A figura (9) apresenta o desempenho do filtro (P1) construído de *Heliconia psittacorum* na remoção teórica do efluente bruto da Universitário Kimpa Vita, calculada pela relação (2). Como se vê, salvo a igualdade de SST (89 %), o tempo de retenção de 7 dias foi mais eficiente em relação ao tempo de 1 dia, que seja para os parâmetros químicos que microbiológicos. O filtro plantado (P1), durante a retenção de 7 dias, apresentou uma média de (88,07 %) em CQO, em CBO₅ (86,36 %), em NTK (66,53 %), em Coliformes totais (66,92 %), em *Echerichia coli* (89,23 %), e em *Enterococos*. (76,77 %). Embora que a diferença foi menor, a remoção de 24 horas foi menos eficaz do que de 7 dias (Fig. 9).

$$\eta_g = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde η_g : a remoção teórica em (%); C_e : a concentração de efluente bruto (mg/L); C_s : a concentração do filtrado (mg/L).

Figura 9

Remoção teórica após 1 dia e 7 dias do efluente bruto do Campus da UNIKIVI pelo leito construído de *Heliconia psittacorum*



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025

Remoção real

A taxa teórica calculada acima não considerou as precipitações, nem o fenómeno de evapotranspiração que ocorreu durante o período de Fevereiro até Abril do ano em curso. O mês de Fevereiro foi caracterizado com ausência total de chuvas com temperaturas elevadas (até 30° C), do seu início até a vinda das chuvas na segunda quinzena de Março. Segundo (Abbisy & Mandi, 1999; Achak et al., 2011) citado em (MK & P, 2020), se tomasse conta dessa mudança de volume, os resultados de tratamento poderiam ser melhorados, e a remoção real calcula-se com a seguinte relação:

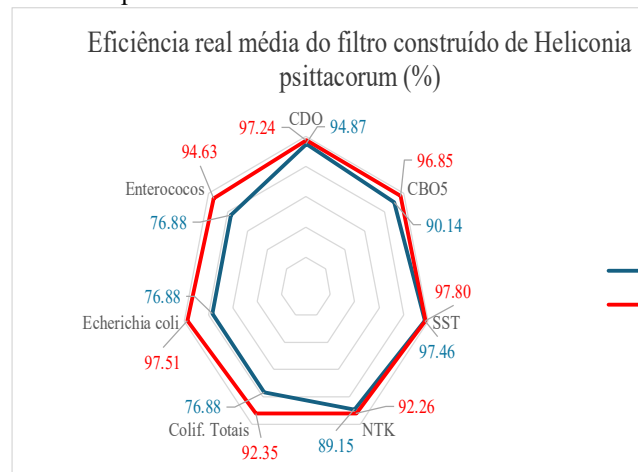
$$\text{Remoção real} = \frac{\text{Carga na entrada} - \text{Carga na saída}}{\text{Carga na entrada}} * 100$$

Equação 3

Onde a carga na entrada (g) = concentração na entrada (g.L⁻¹) * volume de água bruta trazida ao filtro (L), e carga na saída (g) = concentração na saída (g.L⁻¹) * volume de água restituído (L), na saída do sistema.

Figura 10

Remoção real após 1 dia e 7 dias do efluente bruto do campus da UNIKIVI pelo leito construído de *Helicônia psittacorum*



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025

A figura (10) apresenta a remoção real do filtro construído de *Helicônia psittacorum* durante os dois períodos de retenção. A taxa média de remoção real de matéria orgânica (MO) (CQO, CBO5, SST) foi de 97,0 % e dos parâmetros microbiológicos (Coliformes totais, *Escherichia Coli* e *Enterococos*) foi de 95,0 % para os 7 dias. Para as 24 horas, a média real foi de 94,0 % (MO) e 77,0 % (Parâmetros microbiológicos).

Da remoção teórica de 24 horas para real de 1 dia, houve um acréscimo de 46,43 %. No entanto da remoção teórica de 7 dias para real de 7 dias, houve um acréscimo de 14,89 %. Da mesma forma, da remoção teórica de 24 horas para remoção teórica de 7 dias, houve acréscimo de 41,0 %, e da remoção real de 1 dia para remoção real de 7 dias houve um acréscimo de 9,5 %.

DISCUSSÃO

O efluente bruto proveniente da Universitário Kimpa Vita foi biodegradável e contribuiu para a melhor degradação da poluição carbónica. O filtro construído de *Helicônia psittacorum* teve um caudal médio de infiltração de 1497,59 mL/min num tempo de 22,71 min, graças às suas raízes e rizomas mais desenvolvidos (Fig. 1). A temperatura média do filtrado foi estável a 21,75 °C, devido a frescura do solo, a grande cobertura folhar de *Helicônia psittacorum* e a pequena camada de folhas secas cobrando o meio filtrante (Koné, 2002).

O efluente bruto apresentou uma pH alcalina de 8,13, devido à presença de detergente proveniente da lavagem das casas de banho (WC), laboratórios e salas de aulas. Na saída dos filtrados, foi observada uma



diminuição de pH durante os dois períodos de retenção de 7,73 a 7,58 sucessivamente devido provavelmente à oxidação de amónio, operação biológica decorrendo durante a nitrificação biológica. Resultados similares encontrados por Restrepo (2016), na remoção de contaminantes em zonas húmidas construídas de filtro vertical com *Heliconia psittacorum* e alimentadas a diferentes frequências, onde houve diminuição de pH dos filtrados, em média da ordem de 0,81.

As figuras (4 & 5) mostram uma remoção média da carga orgânica (CQO & CBO₅), caracterizada pela redução do teor em CQO de 36,25 mg.L⁻¹ e 19,50 mg.L⁻¹ correspondentes respectivamente a um período de retenção de 24 horas e de 7 dias. De igual modo, a CBO₅ passou de 30,50 mg.L⁻¹ a 9,75 mg.L⁻¹. Em termo de eficiência, o período de retenção após 7 dias foi a melhor com 88,07 % sobre 77,83 % de um dia em CQO, e 86,36 % sobre 57,34 % em CBO₅. A taxa elevada de retenção em carga orgânica é talvez facilitada pela retenção física de materiais grossas na superfície do filtro, e as matérias finas atravessando os poros são oxidadas pela flora microbiana segundo (Kadlec e Wallace, 2009) citado por Restrepo, (2016). (Elizabeth et al., 2017), nos seus estudos similares de «Proposta de tratamento de efluentes florestais numa área húmida artificial, de escoamento sub-superficial, empregando *Bambusa sp.* na fazenda EL Recreo em Tauramena, Casanare» encontraram resultados que se aproximaram a esses estudos, com a eficiência em CQO de 62,5 % e em CBO₅ de 58,3 % (tempo de retenção de 6 dias). (Ciria et al., 2005) também, nas suas experiências sobre «O papel de *Typha latifolia*, para o tratamento das águas residuais de Soria (Espanha) por leito construído» teve uma

remoção de 79,0 % em CQO no primeiro ano, 81,0 % no segundo ano de experiência. Ciria et al. confirmou no mesmo ano, que a remoção em CBO₅ da mesma experiência teve uma eficiência de 97,0 % nos dois anos. (Qomariyah et al., 2022) nos seus estudos sobre «O tratamento das águas cinzentas domésticas por *Cyperus alternifolius* nas zonas húmidas» mostraram a eficiência em CBO₅ de 94,1 % e 96,8 % respectivamente nos antigo e novo filtros.

A diminuição de teor médio em SST durante a retenção de 7 dias (17,50 mg.L⁻¹) foi menor em relação à retenção de um dia (20,25 mg.L⁻¹), que representou quase a mesma eficiência (90 e 89 %) para o filtro em *Heliconia psittacorum*. A pouca degradação de SST no período de 24 horas pode ser atribuída ao menos tempo de contacto do efluente dentro filtro. A actividade biológica da biomassa microbiana das bactérias e de outros microrganismos não teve devidamente lugar. Um estudo similar sobre «Tratamento de água residuária de sinocultura em sistemas alagados construídos cultivados com *Heliconia psittacorum* e *Heliconia coronarium*» foi desenvolvido por (Lo Monaco et al., 2017), onde foi observado elevada remoção de SST na bacia de *Heliconia psittacorum* de 81,5 % e de *Liriodendro-brejo* de 68,7 %. Segundo Metcalf e Eddy (2003) citado em Lo Monaco, essas bacias são eficientes na remoção de SST em decorrência da sedimentação nos interstícios. (Fidele et al., 2023) nos seus estudos «Eficiência da tábua larga (*Typha latifolia*) e Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*) no tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas no Campus Universitário Kimpa Vita» confirmaram a eficiência de macrófitas a degradar os SST, onde o filtro plantado de *Cyperus alternifolius* apresentou uma taxa de

Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). Eficiência de *Helicônia Psittacorum* no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola remoção de 97,0 % e o de *Typha latifolia* 97,9 % durante uma semana de estadia.

A degradação dos nutrientes nesse estudo de filtro construído de *Helicônia psittacorum* durante 24 horas era de 28,75 mg.L⁻¹ em relação à retenção de 7 dias (20,50 mg.L⁻¹). Essa remoção apresentou respectivamente uma taxa média de 53,06 % e 66,53 %, graças ao trabalho das biomassas microbianas presentes no filtro (Apêndice 1, Tab. 2 & 3). Um estudo similar feito por (Nguyen et al., 2021) sobre «o uso de *Cyperus alternifolius* em sistema de *Wetlands* construído de fluxo sub-superficial horizontal para tratamento de águas residuais municipais de Vietnam», teve uma taxa similar de remoção de 53,92 %. (Fidele et al., 2023) nos seus estudos de Tábua larga (*Typha latifolia*) e Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*), confirmou a taxa elevada em nutriente (95,2 %) para o filtro plantado de *Cyperus alternifolius*.

Para os estudos em curso, a degradação dos patógenos em 24 horas foi sem sucesso. O maior tempo de permanência do efluente no filtro permitiu maior contacto dos microrganismos com os patógenos e, após 7 dias, o filtro teve uma eficiência média de 89,23 % em *Echerichia Coli*, seguido de *Enterococos* com 76,77% e *Coliformes* totais com 66,92 %. Resultados idênticos desse estudo (Apêndice 1, Tab. 2 & 3), considerando o fenómeno de evapotranspiração que ocorreu durante o período de ensaio, que (Elizabeth et al., 2017) encontrou no seu estudo «Proposta de tratamento de efluentes florestais implantado numa área húmida artificial de escoamento sub-superficial empregando *Bambusa sp* na fazenda EL Recreo em Tauramena,

Casanare», onde a taxa de remoção em coliformes fecais era de 94,1 % e em coliformes totais de 95,1 % com um tempo de retenção de 6 dias.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou a necessidade de tempo de contacto suficiente do efluente às biomassas microbianas no filtro construído de *Helicônia psittacorum*, com eficiência média teórica que permaneceu acima de 88 % para matéria orgânica (CDO, CBO₅ e SST) durante 7 dias e a volta de 75 % para 24 horas. O nutriente atingiu teoricamente acima de 67 % após 7 dias e 53 % após 24 horas. Considerando o fenómeno de evapotranspiração que ocorreu durante o período de ensaio, a eficiência de 7 dias de retenção foi a melhor acima de 95 % em geral. O filtro (P1) teve uma melhor condutividade hidráulica de 1497,59 mL.min⁻¹ que lhe permite de suportar as sobrecargas hidráulicas durante o funcionamento (Molle et al., 2005). O período de 24 horas não parece eficaz para redução de matéria orgânica, ou sejam dos patógenos, em relação 7 dias que oferece maior tempo de permanência do efluente no filtro.

As macrófitas locais aparecem como uma via segura, promissora e sustentável para o tratamento de águas residuais, mitigando os custos elevados de implantação e manutenção dos sistemas convencionais, um caminho para o desenvolvimento sustentável das zonas rurais e periurbanas. Um outro estudo está em curso para avaliar a eficiência de *Helicônia psittacorum* e de *Canna indica* para tratar as águas residuais domésticas.



APÊNDICES

Tabela 8.

Resumo das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas sobre as amostras na entrada e saída dos filtros plantados de *Heliconia psittacorum* (P1), com tempo de retenção de 1 dia; n: número de amostra = 12; Max: valor máximo; Min: valor mínimo; Méd: valor médio; σ : desvio padrão. Junto com remoção teórica (a) e real (b) de um dia (1D).

Parâmetros (a)	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção teórica 1D (%)			
	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ
CQO	213.0 0	131.0 0	163.5 0	36.2 4	46.00	27.00	36.25	7.93	78.4 0	79.3 9	77.8 3	78.1 2
CBO5	112.0 0	41.00	71.50	30.0 3	46.00	13.00	30.50	14.0 1	58.9 3	68.2 9	57.3 4	53.3 5
SST	301.0 0	94.00	184.2 5	92.7 8	37.00	5.00	20.25	13.4 0	87.7 1	94.6 8	89.0 1	85.5 6
NTK	113.0 0	23.00	61.25	37.9 3	42.00	15.00	28.75	11.1 5	62.8 3	34.7 8	53.0 6	70.6 0
Coliformes totais	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Escherichia Coli	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
Enterococos	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	0.00	0.00	0.00	-

Parâmetros (b)	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção real 1D (%)			
	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ
CQO	85.20	52.40	65.40	14.4 9	4.26	2.50	3.35	0.7 3	95.0 1	95.2 3	94.8 7	94.9 4
CBO5	44.80	16.40	28.60	12.0 1	4.26	1.20	2.82	1.3 0	90.5 0	92.6 7	90.1 4	89.2 1
SST	120.4 0	37.60	73.70	37.1 1	3.42	0.46	1.87	1.2 4	97.1 6	98.7 7	97.4 6	96.6 6
NTK	45.20	9.20	24.50	15.1 7	3.89	1.39	2.66	1.0 3	91.4 0	84.9 2	89.1 5	93.2 0
Coliformes totais	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	223.8 5	223.8 5	223.8 5	0.0 0	76.8 8	76.8 8	76.8 8	-
Escherichia Coli	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	223.8 5	223.8 5	223.8 5	0.0 0	76.8 8	76.8 8	76.8 8	-
Enterococos	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	223.8 5	223.8 5	223.8 5	0.0 0	76.8 8	76.8 8	76.8 8	-

Fonte: Elaborados pelos Autores, 2025

Tabela 9.

Resumo das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas sobre as amostras na entrada e saída dos filtros plantados de *Heliconia psittacorum* (P1), com tempo de retenção de 7 dias; n: número de amostra = 12; Max: valor máximo; Min: valor mínimo; Méd: valor médio; σ : desvio padrão. Junto com remoção teórica (a) e real (b) de 7 dias (7D).

Parâmetros (a)	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção teórica 7D (%)			
	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ
CQO	213.0 0	131.0 0	163.5 0	36.2 4	27.00	13.00	19.50	6.24	87.3 2	90.0 8	88.0 7	82.7 8
CBO5	112.0 0	41.00	71.50	30.0 3	17.00	3.00	9.75	6.80	84.8 2	92.6 8	86.3 6	77.3 6
SST	301.0 0	94.00	184.2 5	92.7 8	22.00	13.00	17.50	4.20	92.6 9	86.1 7	90.5 0	95.4 7
NTK	113.0 0	23.00	61.25	37.9 3	34.00	8.00	20.50	10.66	69.9 1	65.2 2	66.5 3	71.9 0
Coliformes totais	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	944.0 0	546.0 0	800.5 0	174.8 6	60.9 9	77.4 4	66.9 2	-
Escherichia Coli	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	317.0 0	204.0 0	260.7 5	60.01	86.9 0	91.5 7	89.2 3	-
Enterococos	2420. 00	2420. 00	2420. 00	0.00	756.0 0	389.0 0	562.2 5	167.6 6	68.7 6	83.9 3	76.7 7	-

Parâmetros (b)	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção real 7D (%)			
	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ	Max	Min	Méd	σ
CQO	85.20	52.40	65.40	14.4 9	2.50	2.50	1.80	0.58	97.0 7	95.2 3	97.2 4	96.0 1
CBO5	44.80	16.40	28.60	12.0 1	1.57	0.28	0.90	0.63	96.4 9	98.3 1	96.8 5	94.7 6
SST	120.4 0	37.60	73.70	37.1 1	2.04	1.20	1.62	0.39	98.3 1	96.8 0	97.8 0	98.9 5
NTK	45.20	9.20	24.50	15.1 7	3.15	0.74	1.90	0.99	93.0 4	91.9 6	92.2 6	93.5 0
Coliformes totais	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	87.3 2	50.5 1	74.0 5	16.1 7	90.9 8	94.7 8	92.3 5	-
Escherichia Coli	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	29.3 2	18.8 7	24.1 2	5.55	96.9 7	98.0 5	97.5 1	-
Enterococos	968.0 0	968.0 0	968.0 0	0.00	69.9 3	35.9 8	52.0 1	15.5 1	92.7 8	96.2 8	94.6 3	-

Fonte: Elaborados pelos Autores, 2025

Tabela 10.

Melhoramento da eficiência do filtro plantado de *Heliconia Psittacorum* (P1) considerando a remoção teórica e real (a) média após 1 dia; e teórica e real (b) após 7 dias de retenção do efluente da UNIKIVI, número de amostras = 12.

Parâmetros (a)	CQO	CBO5	SST	NTK	Coliformes totais	Escherichia Coli	Enterococos
Remoção teórica 1 dia (%)	77.83	57.34	89.01	53.06	0.00	0.00	0.00
Remoção real 1 dias (%)	94.87	90.14	97.46	89.15	76.88	76.88	76.88
Melhoramento (%)	17.04	32.79	8.45	36.08	76.88	76.88	76.88

Parâmetros (b)	CQO	CBO5	SST	NTK	Coliformes totais	Escherichia Coli	Enterococos
Remoção teórica 7 dia (%)	88.07	86.36	90.50	66.53	66.92	89.23	76.77
Remoção real 7 dias (%)	97.24	96.85	97.80	92.26	92.35	97.51	94.63
Melhoramento (%)	9.17	10.48	7.30	25.73	25.43	8.28	17.86

Fonte: Elaborados pelos Autores, 2025



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbisy, M., & Mandi, L. (1999). Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines: cas du roseau. In *Revue de Sciences de l'eau*, 12(2), 285–315. <https://doi.org/10.7202/705353ar>.
- Achak, M., Ouazzani, N., & Mandi, L. (2011). Élimination des polluants organiques des effluents de l'industrie oléicole par combinaison d'un filtre à sable et un lit planté. In *Revue des Sciences de l'eau*, 24(1), 35–51. <https://doi.org/10.7202/045826ar>.
- Alexandre, O., Boutin, C., Duchêne, P., Lagrange, C., Lakel, A., Liénard, A., & Orditz, D. (1998). Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. In Cemagref Éditions (Ed.), *Document technique FINDA n°22 (1ère)*.
- Barszcz, L. B., Bellato, F. C., Benassi, R. F., & Matheus, D. R. (2019). Avaliação ecotoxicológica de efluentes tratados por alagados construídos ecotoxicological evaluation of effluents treated by constructed wetlands. In *Researchgate*, 24(6), 1147–1156. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019184120>.
- Bourrier, R., Satin, M., & Selmi, B. (2017). *Guide technique de l'assainissement*. 5e ed. Paris : Édition Le Moniteur.
- Boutin, C., & Dutartre, A. (2014). Des macrophytes pour épurer les eaux ? *Sciences Eaux et Territoires* : In *Révue du IRSTEA*, 15, 70–73. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2014.15.13>.
- Boutin, C., Liénard, A., & Lesavre, J. (2000). Filières d'épuration pour petites collectivités: les cultures fixées sur supports Fins. In *Ingenieries - EAT, IRSTEA*, 24, 3–13.
- Ciria, M. P., Solano, M. L., & Soriano, P. (2005). Role of macrophyte *Typha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potential as a biomass fuel. In *Biosystems Engineering*, 92(4), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.08.007>
- Elizabeth, C. A. C., Paola, O., & Lariza, V. B. A. (2017). Proposal for treatment of fomesic wastewater implementing a subsuperficial flow artificial wetland employing *Bambusa* sp on the farm El recreo in Tauramena, Casanare. In *Ingeniería En Recursos Hídricos*, 1–12.
- Eme, C. (2012). Traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes - Adaptation de la filère au contexte tropical - État de l'art. In IRSTEA, Lyon. https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2016/10/DOM_Ttt-eaux-usées-par-FP-macrophytes_C.Eme_.pdf
- Fidele, M. K., Mbungu, D. M., & Nzuzi, L. M. (2023). Eficiência das tábuas largas (*Typha latifolia*) e Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*) no tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas no Campus universitário Kimpa Vita. In *Alba Revista*. 1(2), 141–153.
- Governo da Província do Uíge (GPU). (2012). Perfil da Província do Uíge. Planeamento da província do Uíge. ConsultórioJMJ-Angola. Luanda.
- Koné, D. (2002). Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'Ouest et du Centre : Etat des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement [École Polytechnique Fédérale de Lausanne]. <https://doi.org/10.5075/EPFL-THESIS-2653>.
- Kone, M., Bonou, L., Koulidiati, J., Joly, P.,

- Fidele, M. K., Nzuzi, L. M. e Kamalekilua, N. (2026). Eficiência de *Heliconia Psittacorum* no tratamento das águas residuais da Universidade Kimpa Vita, Angola & Sodre, S. (2012). Percolation sur sable et sur substrat de coco. In *Révue des Sciences de l'eau*, 25(2), 139–151. <https://doi.org/10.7202/1011604ar>.
- Liénard, I. A., Molle, P., Boutin, C., & Dodane, P. (2005). Traitement des eaux usées par marais artificiels : action des plantes et développement de la technique en France. In *TSM*, 11, 45–56.
- Lo Monaco, P. A. V., Soela, D. M., Haddade, I. R., Oza, E. F., & Dos Santos, M. M. (2017). Tratamento de água residuária de sinocultura em sistemas alagados construídos cultivados com *Heliconia psittacorum* e *Heliconia coronarium*. In *Revista Engenharia na Agricultura*, 25(6), 561–568. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i6.788>.
- Mavioso, J. F. (2010). Tratamento de águas residuais através de Leitos de Macrófitas - A influência da vegetação. Engenharia do Ambiente [Universidade de Lisboa]. [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142113594/Tratamento de águas residuais através de Leitos de Macrófitas - A influência da vegetação.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142113594/Tratamento%20de%20%C3%A1guas%20residuais%20atrav%C3%A9s%20de%20Leitos%20de%20Macr%C3%B3fitas%20-%20A%20influ%C3%ancia%20da%20vegeta%C3%A7%C3%A3o.pdf)
- MK, F., & P, A. (2020). Residual Wastewater Treatment by an Aquatic Plant System in Tropical Area: Assessment of *Arundo Donax* and *Pennisetum Purpureum* Schumach. In *International Journal of Water and Wastewater Treatment*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.16966/2381-5299.177>
- Molle, P., Liénard, A., Boutin, C., Merlin, G., & Iwema, A. (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. In *Water Science and Technology*, 51(9), 11–19.
- Nguyen, T. D., Tran, H. D., & Vi, H. M. T. (2021). A study on using *Cyperus alternifolius* for horizontal subsurface flow constructed wetland in municipal wastewater treatment. In *Chemical Engineering Transactions*, 83, 523–528. <https://doi.org/10.3303/CET2183088>
- Ouattara, P. J. M., Coulibaly, L., Manizan, P. N., & Gourène, G. (2008). Traitement des eaux résiduaires urbaines par un marais artificiel à drainage vertical planté avec *panicum maximum* sous climat tropical. In *European Journal of Scientific Research*, 23(1), 25–40.
- Qomariyah, S., Utomo, B., & Wahyudi, A. H. (2022). Constructed wetlands with *Cyperus alternifolius* as a sustainable solution for household greywater treatment. *IOP Conference Series. In Earth and Environmental Science*, 1065(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1065/1/012025>
- Restrepo, D. G. (2016). Remoción de contaminantes en humedales construidos de flujo vertical sembrados con *Heliconia psittacorum* y alimentados con diferentes frecuencias. In *Semantic Escolar*, 4(1), 1–65.
- UNICEF, A., & ADRA, A. (2016). Água e saneamento em Angola no orçamento geral do estado (OGE) 2016. <https://docplayer.com.br/22931286-Agua-e-saneamento-no-oge-2016.html>



ALBA®

ISFIC RESEARCH AND SCIENCE JOURNAL



ALBA - ISFIC RESEARCH AND SCIENCE JOURNAL

ISSN PRINT: 3006-2489; ISSN ONLINE: 3006-2470

1ª Ed, Vol. 2, No. 10, janeiro, 2026

<https://alba.ac.mz/index.php/alba/issue/view/14>

albaisfic@gmail.com; alba@isfic.ac.mz

31 - 01 | 2026