

**20 - 11 | 2023**

EFICIÊNCIA DAS TÁBUA LARGA (*TYPHA LATIFOLIA*) E PALMEIRA UMBELA (*CYPERUS ALTERNIFOLIUS*) NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LEITOS DE MACRÓFITAS NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO KIMPA VITA

Efficiency of the Wide board (*Typha latifolia*) and Umbela palm (*Cyperus alternifolius*) in the treatment of wastewater by macrophyte beds in the Kimpa Vita university Campus

Eficiencia del tablero (*Typha latifolia*) y la palma umbela (*Cyperus alternifolius*) en el tratamiento de aguas residuales por lechos de macrófitos en el Campus Universitario Kimpa Vita

Mampuya Kinda Fidele¹, David Manuel Mbungu², Lucau Micael Nzuzi³

¹Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, ORCID 0000-0002-3114-5179, fmkinda@yahoo.fr

²Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, castr david525@gmail.com

³Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Angola, lucaumicael@gmail.com

Autor para correspondência: fmkinda@yahoo.fr

Data de recepção: 18-10-2023

Data de aceitação: 15-11-2023

Como citar este artigo: Fidele, M. K., Mbungu, D. M., & Nzuzi, L. M. (2023). Eficiência das tábua larga (*typha latifolia*) e palmeira umbela (*cyperus alternifolius*) no tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas no Campus Universitário Kimpa Vita. *ALBA - ISFIC Research and Science Journal*, 1(2), pp. 141-153.

RESUMO

O presente manuscrito incide sobre a utilização de leitos construídos de macrófitas, que actualmente constitui uma alternativa sustentável para o tratamento das águas residuais, sendo recomendada para as pequenas aglomerações e áreas com cargas orgânicas variáveis, descrita robusta, resiliente para fazer face a essas variações com custos reduzidos. O objectivo principal do trabalho centrou-se na avaliação do desempenho da eficiência depuratória de Tábua larga (*Typha latifolia*) e Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*), macrófitas locais da região norte de Angola (Uíge), no tratamento das águas residuais em zonas periurbanas e rurais (caso da Universidade Kimpa Vita), por leitos construídos de vegetais. A análise de variância ANOVA revelou uma diferença significativa de desempenho entre a *Typha latifolia* e *Cyperus alternifolius*, no que tange a remoção

de carência química em oxigénio (CQO), carência bioquímica em oxigénio durante cinco dias (CBO₅), sólidos suspensos totais (SST) e nitrogénio total Kjeldahl (NTK), apesar dos valores próximos de remoção apresentados pelas duas plantas. Verificou se também, além do papel biológico desenvolvido pelas duas espécies na degradação da poluição orgânica, a *Typha latifolia* distinguiu-se como melhor em condutividade hidráulica (papel físico), capaz de receber as enxurradas, por ter desenvolvido raízes e rizomas maiores do que o *Cyperus alternifolius*.

Palavras-chave: eficiência, Kimpa Vita, leitos plantados de macrófitas, tratamento das águas residuais.

ABSTRACT

This manuscript focuses on the use of constructed wetlands of macrophytes, which

currently constitutes a sustainable alternative for the treatment of wastewater, being recommended for small agglomerations and areas with variable organic loads, described as robust, resilient to cope with these variations with reduced costs. The main objective of the work was to evaluate the performance of the purification efficiency of Wide board (*Typha latifolia*) and Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*), local macrophytes from the northern region of Angola (Uíge), in the treatment of wastewater in peri-urban and rural areas (case of the Kimpa Vita University), by constructed wetlands of vegetables. The ANOVA analysis of variance revealed a significant difference in performance between *Typha latifolia* and *Cyperus alternifolius* regarding the removal of chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand for five days (BOD₅), total suspended solids (TSS) and total Kjeldahl nitrogen (NTK), despite the close removal values presented by the two plants. It was also verified, in addition to the biological role developed by the two species in the degradation of organic pollution, *Typha latifolia* distinguished itself as better in hydraulic conductivity (physical paper), capable of receiving the floods, for having developed roots and rhizomes larger than *Cyperus alternifolius*.

Keywords: efficiency, constructed wetlands of macrophytes, Kimpa Vita, wastewater treatment.

RESUMEN

Este manuscrito se enfoca en el uso de lechos macrófitas construidos, que actualmente constituye una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales, siendo recomendado para pequeñas aglomeraciones y áreas con cargas orgánicas variables, descritas como robustas, resilientes para enfrentar estas variaciones con costos reducidos. El objetivo principal del trabajo fue evaluar el desempeño de la eficiencia de purificación de Tábua larga (*Typha latifolia*) y palma Umbela (*Cyperus alternifolius*), macrófitas locales de la región norte de Angola (Uíge), en el tratamiento de

aguas residuales en áreas periurbanas y rurales (caso de la Universidad Kimpa Vita), mediante lechos vegetales construidos. El análisis de varianza ANOVA reveló una diferencia significativa en el desempeño entre *Typha latifolia* y *Cyperus alternifolius*, en cuanto a la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno durante cinco días (DBO₅), los sólidos suspendidos totales (SST) y el nitrógeno Kjeldahl total (NTK), a pesar de los valores de remoción cercanos presentados por las dos plantas. También se comprobó, además del papel biológico desarrollado por las dos especies en la degradación de la contaminación orgánica, que *Typha latifolia* se distinguió como mejor en conductividad hidráulica (papel físico), capaz de recibir escorrentía, por haber desarrollado raíces y rizomas más grandes que *Cyperus alternifolius*.

Palabras clave: camas plantadas macrófitas, eficiencia, Kimpa Vita, tratamiento de aguas residuales.

INTRODUÇÃO

A água doce limpa, apropriada e em quantidade adequada é de vital importância para a sobrevivência de todos os organismos vivos, bem como para o funcionamento adequado de ecossistemas, comunidades e economias (Palaniappan et al., 2010).

Angola, como todos os países em desenvolvimento, está enfrentado actualmente o problema de preservação do seu meio Ambiente. A guerra fratricida que assolou o país durante quase três décadas destruiu a rede de abastecimento de água potável, saneamento e higiene (MK & P, 2021) apud (GoA & PNUD, 2005).

Ao longo da última década, Angola tem vindo a investir fundos importantes para o acesso à água potável e ao saneamento seguro, particularmente nas áreas urbanas do país, mas os níveis de acesso permanecem muito baixos e os dados mostram que não houve progressos significativos nos últimos anos. O financiamento do sector tem sido focalizado na

construção de grandes infraestruturas com pouquíssima atenção às operações necessárias para manter essas infraestruturas em funcionamento (UNICEF & ADRA, 2016). Porém, as tecnologias convencionais de tratamento representam alto custo de implementação aplicadas em regiões descentralizadas (Sartori, 2010). Esses sistemas são muito complexos, inadequados, onerosos, e tornam rapidamente não operacionais (MK & P, 2021) apud (Ouattara et al., 2008).

De acordo com (Vierra, 2013), citado por (Fidele, 2021), estima-se que cerca de 20 % da população do país tem acesso a um sistema de tratamento de água residual, o que significa que a maioria das águas residuais é despejada directamente nos rios, lagos e no mar, sem tratamento adequado. Os dados mais recentes disponíveis, referentes ao inquérito de indicadores múltiplos e de saúde 2015-2016 (GoA, 2016), indicam que apenas 46 % dos agregados familiares usufruem de instalações sanitárias adequadas ao nível urbano, 11 % ao nível rural e 32 % ao nível nacional (UNICEF & ADRA, 2017).

Segundo (Koné, 2002) as técnicas de depuração clássicas tais como lamas activadas e camas bacterianas que representavam 75 % sobre 155 estações de depuração instaladas na África de Oeste e Central estão em disfuncionamento. Torna-se necessário de implementar as tecnologias de tratamento de efluentes domésticos, fiáveis, adaptados ao país em desenvolvimento, possuindo as técnicas extensivas, mais robustas. O interesse aqui está relacionado ao sistema de tratamento das águas residuais por filtros plantados de macrófitas, que nasceu no princípio dos anos 1950, com os trabalhos de Seidel (Boutin & Dutartre, 2014). De acordo com (Boutin et al., 2000) esse sistema é aplicado para às pequenas e médias colectividades de 50-2000 EH.

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 presente estudo, inscreve-se no quadro de eficiência das Tábua larga (*Typha latifolia*) e Palmeira Umbela (*Cyperus alternifolius*) no tratamento das águas residuais por leitos de macrófitas. O objectivo geral é de comparar a qualidade do efluente tratado por dois pilotos de leitos cobertos de vegetais locais, respectivamente de Tábua larga (*Typha latifolia*) e de Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*), a fim de escolher a macrófita mais eficaz, nas mesmas condições experimentais, e a mais adaptada para o tratamento de águas residuais em Angola.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A experiência foi realizada sobre um experimento de filtração localizado à Universidade Kimpa Vita no Uíge em Angola (Fig. 1), região com clima quente e húmido, com uma precipitação máxima de 1 600 mm (Março e Abril) e uma média anual de 1400 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 três bacias em polietileno de capacidade de 84 L cada um, formados de gravilhas de 4-8 mm de granulometria, sobre uma espessura de 0,25 m, sobrepostos de uma camada de 0,10 m de areia de 0,5/5 mm. Duas bacias são cobertas de vegetais com uma densidade que avizinha 43 plantas/m² [bacia azul (BA) coberta de *Cyperus alternifolius* e bacia verde (BV) coberta de *Typha latifolia*]. A bacia vermelha (BR) sem cobertura vegetal está em disfuncionamento (MK & P, 2021).

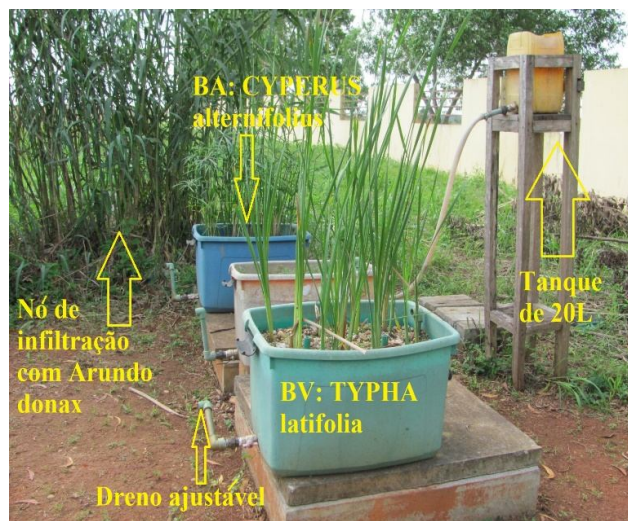


Figura 1. Experimento de filtração a Tábua larga (*Typha latifolia*) e Palmeira umbela (*Cyperus alternifolius*), vegetais locais do Uíge, Angola, (MK & P, 2021), modificada, 2023

Os pilotos foram irrigados por alternância com $40 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ (Maio a Outubro 2023) com uma frequência regular de uma vez por semana, com águas residuais do campus universitário Kimpa Vita. O tempo de repouso também foi de uma semana. O fluxo percola por gravidade através dos substratos, as águas tratadas foram recolhidas através de um dreno na base de cada bacia e, em seguida, descarregadas num nó de filtração, localizado a jusante das bacias, coberto de *Arundo donax*, que serve a melhorar a degradação do efluente de transbordo ou de descarga do sistema de filtração. O reservatório foi um bidão em polietileno de 20 L que abastece as bacias.

As mudas das duas plantas foram colectadas no meio natural do Uíge, aplicadas no final do mês de Março 2023, dez dias depois, a *Typha latifolia* apresentou algum amarelecimento de tecido folhar que melhorou após um mês. Enquanto, o *Cyperus alternifolius* adaptou-se normalmente nas condições climáticas do meio ambiente onde se encontram as bacias.

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

Métodos utilizados

Determinação de parâmetros físico-químicos

As amostras foram colectadas duas vezes por mês ao longo de um período de 6 meses (de Maio a Outubro de 2023) da seguinte maneira: A amostra de água bruta foi colectada na saída do reservatório que alimenta os dois pilotos no dia de recarga dos filtros, isto é, numa segunda-feira. Também a lâmina de efluente e o tempo de infiltração durante o carregamento de cada filtro foram registado. Seguida por duas amostras de água tratada que foram colectadas após uma semana na saída dos mesmos filtros. Por mês foram levantadas 6 amostras e 36 análises feitas. Essas amostras foram levantadas no campus universitário, e após foram encaminhadas para análises físico-químicas no laboratório da Empresa AmbiÁfrica.

A carência bioquímica em oxigénio cinco dias (CBO_5) foi determinada pelo método manométrico baseado no princípio de Warburg (AFNOR T90-103). O nitrogénio total de Kjeldahl foi determinado pelo método AFNOR T90-110. 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, então na presença de sulfato de prata. O excesso de dicromato de potássio foi determinado por

colorimetria a 620 nm. O nitrogénio orgânico foi mineralizado em nitrogénio amoniacal por ácido sulfúrico na presença de catalisador, com uso do espectrofotómetro HANNA HI 801. A temperatura (θ) e o potencial de hidrogénio (pH) foram determinados usando a sonda multiparamétrica HANNA EDGE, modelo HI 2020-02, e a sonda de temperatura HI 11310. 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).

Os resultados das análises das amostras vindos do laboratório foram tratados por Excel (Microsoft 365) e com a ferramenta estatística SPSS 21. O método ANOVA associado a testes Post-Hoc de comparações múltiplas foi utilizado para comparar os dois tipos de plantas. 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 macrophytes foram documentadas por fotografias.

2. Levantamento das amostras

O levantamento das amostras foi realizado duas vezes por mês durante 6 meses (Maio-Outubro 2023) da seguinte maneira: levantamento das amostras do efluente bruto na saída do tanque alimentando as duas bacias pilotos, seguidos de duas amostras de filtrados recolhidos na saída dos mesmos filtros pilotos após 7 dias de residência. Sobre as 36 amostras levantadas no semestre, foram efectuadas 216 análises, por razões de 6 análises por amostra.

3. Hidráulica de camas dos filtros

O funcionamento hidráulico do sistema de filtração permite acompanhar a evolução do tempo de infiltração que uma lâmina de efluente bruto de 0,05 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 de seguinte maneira (Ouattara et al., 2008).

$$Q = V \cdot t \quad \text{Equação (1)}$$

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físico-químicas do efluente bruto

O efluente bruto da Universidade Kimpa Vita (UNIKIVI) apresenta os valores médios a tendência básico (pH = 7,98) e biodegradável (CQO/CBO₅ = 1,6 < 3)(Apêndice 1, Tab. 2)(Bourrier et al., 2017). Os parâmetros clássicos são a temperatura ($22,33 \pm 0,49$) C, CQO ($194,7 \pm 102,2$) mg O₂/L, CBO₅ ($119,2 \pm 65,1$) mgO₂/L, SST ($385,6 \pm 144,3$) mg/L, NTK ($123,0 \pm 73,8$) mg/L.

Funcionamento hidráulico dos filtros

Os filtros plantados estão carregados uma vez por semana com um tempo de repouso de sete dias. Tiveram um volume total de irrigação de 480 L durante o período de ensaio. De acordo com a tabela 1, o filtro plantado de *Typha latifolia* apresentou um melhor tempo médio de infiltração de 4,6 min em relação ao filtro plantado de *Cyperus alternifolius* (6,0 min), graças às suas raízes e rizomas mais desenvolvidos. De facto, seus troncos atravessando a camada colmatando de depósito de lodo, criam espaços livres para escoamento de efluente, implicando um aumento da permeabilidade hidráulica, isso permite de infiltrar um volume importante de água (Fig. 2) (Liénard et al., 2005). No entanto, houve maior perda de água no filtro plantado de *Cyperus alternifolius* devido ao fenómeno de evapotranspiração 24,4 L (61,1 %) (Tab.1). Não houve problema de colmatagem

assinalado durante a experiência. De facto, a alternância semanal imposto ao sistema de alimentação e de repouso permitiu a aeração da

zona não saturada e a mineralização dos filtros. A tabela 1 e a figura 2 apresentam as características hidráulicas dos dois filtros.

Tabela 1. Características hidráulicas dos filtros plantados

Sistema de filtração	Tempo médio de infiltração (min)	Volume médio restituído (L)	Caudal médio (mL.min ⁻¹)	Volume médio perdido (L)
BA (leito construído de <i>Cyperus alternifolius</i>)	6,0	15,6 (38,9 %)	1 822,8	24,4 (61,1 %)
BV (leito construído de <i>Typha latifolia</i>)	4,6	20,8 (52,0 %)	2 377,0	19,2 (48,0 %)

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

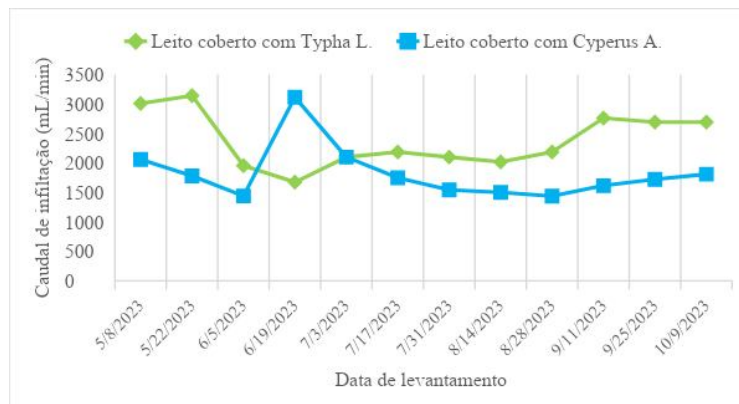


Figura 2. Caudal de infiltração de filtros cobertos de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolius* (BA), (Elaborado pelos autores, 2023).

A temperatura: o efluente bruto apresentou uma temperatura quase estável durante o período experimental, com uma média de 22,3 C. Ela teve um máximo de 23,0 °C e um mínimo de 22,0 °C. No entanto, o filtrado nos dois leitos teve uma média de 22,2 °C.

O potencial de hidrogénio: o efluente bruto teve uma tendência alcalina cuja média é de 7,98, um máximo de 8,70 e mínimo de 7,70. O efluente, após 7 dias de retenção nas bacias, o

seu pH permaneceu estável a 7,18 na saída dos dois filtros. Os efluentes tratados nos dois filtros plantados, tiveram uma diminuição de pH nos limites de básico com tendência ácida. O filtro plantado de *Typha latifolia* (BV) teve um pH médio de 7,25, um máximo de 7,40, e um mínimo quase neutro (7,10). Enquanto o filtro plantado de *Cyperus alternifolius* (BA) apresentou a média de 7,12, um máximo de 7,40 e um mínimo neutro (7,00) (Fig. 3).

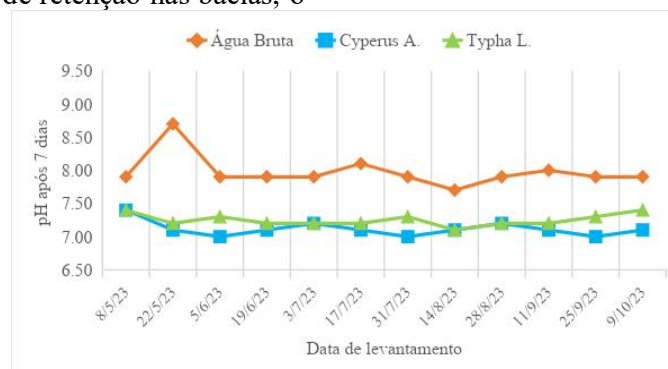


Figura 3. Evolução temporal de pH do efluente bruto (EB) na entrada e tratado na saída de filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolia* (BA), após 7 dias (Elaborado pelos autores, 2023)

Os sólidos suspensos totais: a concentração média em SST de efluente bruto fluctuava entre 46 e 564 mg. L⁻¹, com a média de 385,6 mg.L⁻¹. O pico de 564,0 mg.L⁻¹ registado no dia 17 de Julho de 2023, que resulta da sobrecarga devido do aumento da presença dos estudantes no campus universitário participando aos exames do final de ano académico (Fig. 4). No entanto, os dois filtros plantados (BA e BV) apresentaram uma

remoção em SST de 97,0 % e 97,9 % respectivamente durante uma semana de estadia. A análise de variâncias (ANOVA) mostrou que a eficiência das duas bacias para a remoção de SST não foi similar (o nível de significância (valor $p < 0,05$)). Também, foi constatado que o filtrado da bacia coberta de *Typha latifolia* foi um pouco turva do que o de *Cyperus alternifolia*.

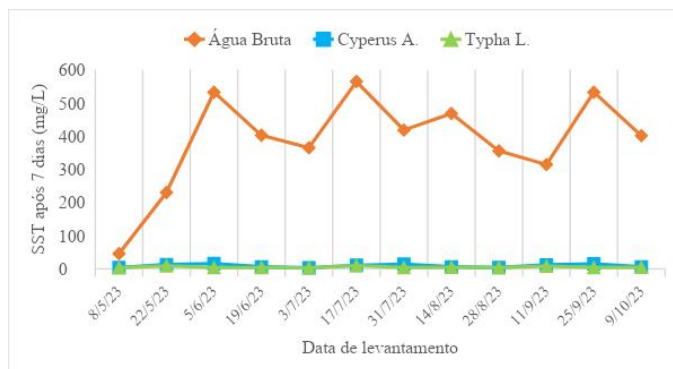


Figura 4. Evolução temporal de teor em SST de efluente bruto (EB) na entrada e tratado na saída dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolia* (BA) após 7 dias (Elaborado pelos autores, 2023)

A carência química em oxigénio: o efluente bruto foi menos carregado, a sua concentração média em CQO na entrada do sistema de filtração variou extremamente com uma média de 194,7 mg. L⁻¹. O pico (378,0 mg.L⁻¹) de 31 de Julho de 2023 resulta sempre da sobrecarga de aumento do número dos estudantes no campus universitário participando aos controlos de fim de ano académico (Fig. 5). O

filtro plantado de *Typha latifolia* (BV) foi menos eficiente com uma taxa de remoção de 84,0 % em CQO em relação à bacia plantada de *Cyperus alternifolia* (88,8 %). O teste ANOVA apresentou uma diferença significativa (valor $p < 0,05$) na remoção de CQO entre as duas bacias no tempo de estadia de 7 dias.

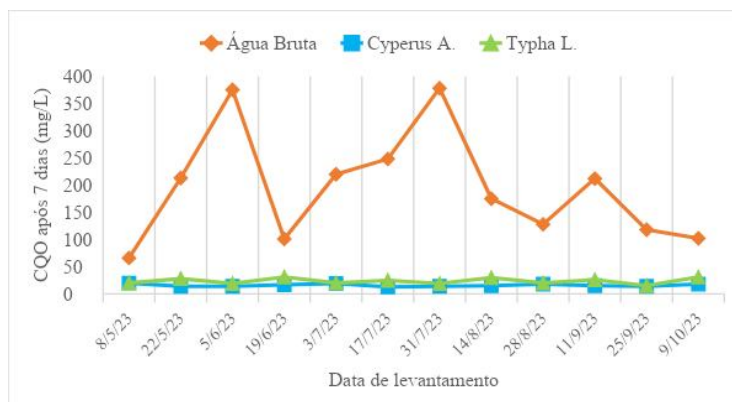


Figura 5. Evolução temporal de teor em CQO de efluente bruto (EB) na entrada e tratado na saída dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolia* (BA) após 7 dias (Elaborado pelos autores, 2023)

A carência bioquímica em oxigénio em cinco dias: a concentração média em CBO₅ de

efluente bruto é de 119,2 mg.L⁻¹. A concentração mínima passou a 22,0 mg.L⁻¹ e a

máximo a 223,0 mg.L⁻¹. O filtro coberto de *Cyperus alternifolius* (BA) foi menos excelente com 91,6 % em relação ao filtro coberto de *Typha latifolia* (95,1 %). A sua curva apresentou um pico no dia 17 de julho de

2023, devido ao fluxo massivo dos estudantes no campus universitário naquele período (Fig. 6). O teste ANOVA mostrou que os dois filtros não são similares, pois o nível de significância (valor $p < 0,05$).

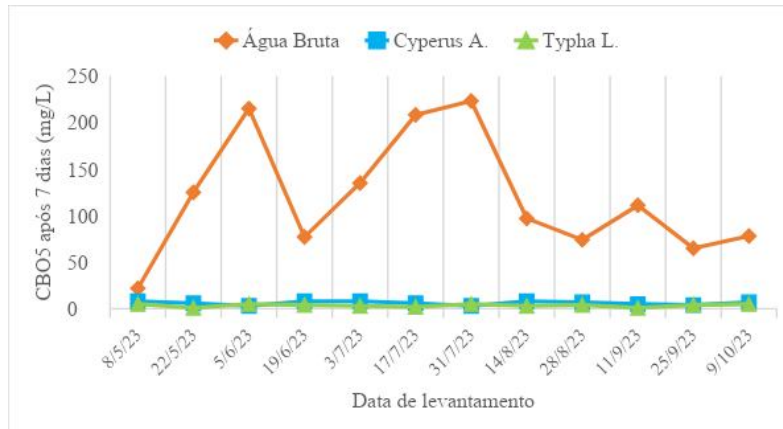


Figura 6. Evolução temporal de teor em CBO₅ de efluente bruto (EB) na entrada e tratado na saída dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolius* (BA) após 7 dias (Elaborado pelos autores, 2023)

O nitrogénio total Kjeldahl: o efluente bruto apresentou uma concentração média em NTK de 123,0 mg.L⁻¹ que fluctuou entre os dias 22 de Maio e 03 de Julho de 2023 com dois picos (245,0 e 248,0 mg.L⁻¹) respectivamente, e um ponto baixo de 46 mg.L⁻¹ (Fig.7). Entretanto, o filtro plantado de *Typha latifolia* (BV) teve

na saída a concentração de pouca qualidade de 7,17 mg.L⁻¹ em relação à de *Cyperus alternifolius* (BA) de 4 mg.L⁻¹. Essa remoção justifica a taxa elevada de 95,2 % de eficiência por (BA) e 90,3 % por (BV) e, são significativamente diferentes, com (valor $p < 0,05$).

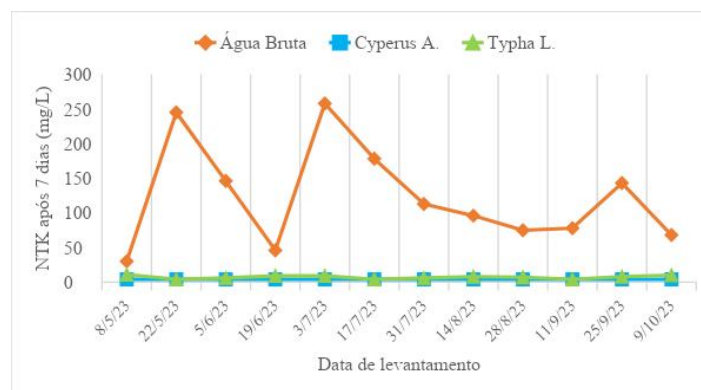


Figura 7. Evolução temporal de teor em NTK de efluente bruto (EB) na entrada e tratado na saída dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolius* (BA) após 7 dias (Elaborado pelos autores, 2023)

Remoção teórica e real dos filtros

Remoção teórica

A figura (8) apresenta a desempenho na remoção teórica dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolius* (BA) do efluente residual do campus universitário

Kimpa Vita. Como se vê, o filtro plantado (BA) foi mais eficiente em CQO (88,8 %) e NTK (95,2 %) em relação ao filtro (BV). No entanto, o filtro BV foi melhor em CBO5 (95,1 %) e ultrapassa de nono décimo por cento em SST em relação ao filtro BA (97,0 %).

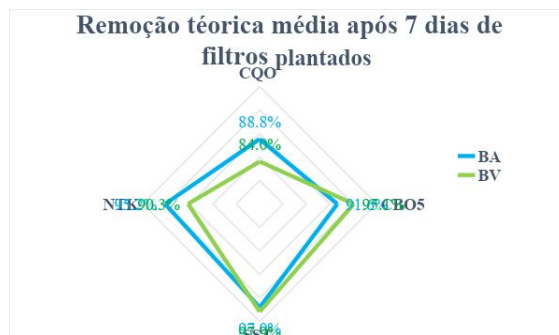


Figura 8. Remoção teórica após 7 dias do efluente bruto do campus da UNIKIVI pelos filtros plantados de *Typha latifolia* e *Cyperus alternifolius* (Elaborado pelos autores, 2023)

Remoção real

A taxa teórica calculada anteriormente não tomou em conta das precipitações, nem do fenómeno de evapotranspiração que ocorreram durante o período de ensaio. Esses podem naturalmente modificar o volume do efluente no sistema de filtração. Segundo (Abbisy & Mandi, 1999; Achak et al., 2011) apud (MK & P, 2021) se tomasse em conta dessa mudança de volume, os resultados de tratamento poderiam ser melhorados, e a remoção real calcula-se com a seguinte relação:

$$\text{Remoção real} = \frac{\text{Carga na entrada} - \text{Carga na saída}}{\text{Carga na entrada}} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

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 de cada sistema.

As bacias cobertas de *Typha latifolia* (BV) e de *Cyperus alternifolius* (BA) após uma semana, apresentaram uma melhoria dos seus desempenhos de remoção teórica da ordem de 1,0-7,7 % e 1,8-6,8 % respectivamente (Tab. 4(a) e 4(b)). O filtro plantado BA teve uma melhoria de 6,8 % em CQO e 5,1 % em CBO₅. No entanto, o filtro plantado BV teve uma melhoria de 7,7 % em CQO e 4,6 % em nitrogénio total. Apesar do aumento de 7,7 % em CQO (BV), o filtro plantado BA teve um melhoramento de 4 % em CQO e de 3,2 % em NTK em relação ao filtro plantado BV. A remoção real em SST e CBO₅ dos dois filtros está quase idêntica cujo melhoramento está a volta de 1 %. O filtro BV excede de oitavo décimo por cento em CBO₅ e de um decimo por cento em SST em relação ao filtro BA (Tab. 5).

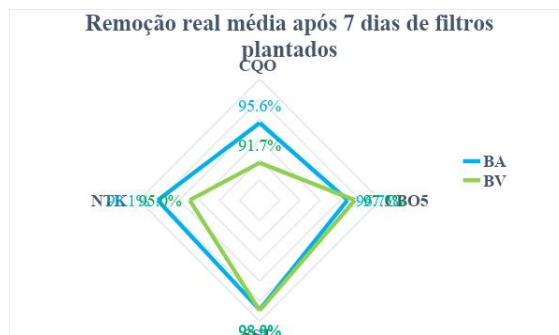


Figura 9. Remoção real após 7 dias do efluente bruto do campus da UNIKIVI pelos filtros plantados de *Typha latifolia* e *Cyperus alternifolius* (Elaborado pelos autores, 2023)

O efluente bruto proveniente do campus universitário Kimpa Vita foi biodegradável, este permitiu uma boa degradação da poluição em carbono e de nutrientes. O filtro plantado de *Typha latifolia* apresentou um melhor tempo de filtração de 4,6 min em relação ao filtro plantado de *Cyperus alternifolius* graças

às suas raízes e rizomas mais desenvolvidos (Fig. 2). A temperatura do efluente bruto fluctuou de 0,75 °C em relação à média, devido da frescura do solo, favorecida pela presença das plantas que protejam as superfícies de filtros (Koné, 2002). Observou-se que, o tempo fresco aumenta a taxa de humidade de

substratos e a viscosidade do efluente, o que leva a lâmina de água passar mais tempos a percolar a través de substratos.

O efluente bruto teve uma tendência alcalina devido à presença de detergente proveniente da lavagem das casas de banho (WC), laboratórios e salas de aulas. O seu pH médio é de 7,98. Houve uma diminuição de pH do filtrado da bacia (BB) de 0,86 (7,12) e da bacia (BV) de 0,73. Essas reduções de pH nos filtrados são resultados de acção das plantas que podem segregar íons positivos no meio filtrante, que tem por efeito da diminuição do pH (Ouattara et al., 2008). Também essa diminuição pode ser provocada por acção bacteriana que degrada a poluição, liberando ácidos no meio de cultura. Segundo (MK & P, 2021) um resultado similar foi observado na diminuição de pH de metade da unidade, passando de 7,9 do efluente bruto a 7,4 dos filtrados no seu estudo “Residual Wastewater Treatment by an Aquatic Plant System in Tropical Area: Assessment of *Arundo Donax* and *Pennisetum Purpureum Schumach*”. Também, um resultado similar foi achado pelos (Tanner et al., 1995) in (Achak et al., 2011) sobre o seu estudo de “um efluente tratado num filtro formado de gravilhas de *Schoenoplectus Validus* a fluxo subsuperficial”, onde o pH passou de 7,2 para efluente bruto a 6,6 a 7,0 para o filtrado.

A figura 5 mostra a redução da poluição carbonada para a CQO após uma semana de tratamento nos dois filtros, a sua taxa era da ordem de 88,8 % (filtro BB) a 84,0 % (filtro BV). Essa retenção da concentração em CQO nos filtrados proveniente de dois filtros é certamente devido da retenção físico de matérias grossas na superfície dos filtros e de matérias finas atravessando os poros, e a oxidação do efluente pela flora microbiana. Os estudos similares feitos por (Ebrahimi et al., 2013) sobre a “eficiência das zonas húmidas construídas vegetadas com *Cyperus Alternifolius* aplicado para o tratamento municipal de águas residuais subterrâneas de Yazd no Irã” confirmou a remoção de CQO com uma taxa de 83,0 %. De igual modo, (Ciria

et al., 2005) nos seus estudos sobre “o papel de *Typha latifolia* para o tratamento das águas residuais de Soria (Espanha) por leito construído” teve uma remoção em CQO de 79,0 % no primeiro ano, e 81,0 % no segundo ano de experiência.

A concentração de carência bioquímica em oxigênio durante cinco dias (CBO₅) do efluente bruto na entrada do sistema de filtração teve uma média de 119,2 mg.L⁻¹. A concentração média em CBO₅ na saída dos dois filtros pareceu com melhor redução de 3,5 mg/L (BV) e de 6,1 mg/L (BA). A eficiência média de remoção em CBO₅ do filtro coberto de *Typha latifolia* e *Cyperus alternifolius* foi respectivamente de 95,1 % e 91,6 % (Fig. 8). Os estudos similares feitos por Ciria et al., (2005) sobre “o papel de *Typha latifolia* para o tratamento das águas residuais de Sória (Espanha) por leito construído” teve uma remoção de 97,0 % nos dois anos de experiência. De igual modo, os estudos de Qomariyah et al., (2022) sobre “o tratamento das águas cinzentas domésticas por *Cyperus alternifolius* nas zonas húmidas” mostraram a eficiência média em matéria orgânica (CBO₅) da ordem de 94,1 % e 96,8 % respectivamente na antiga e nova bacia.

A redução em sólidos suspensos totais (SST) foi observada com pouca diferença entre os dois filtros, da ordem de 0,9 %, de 97,0 % no filtro plantado de *Cyperus alternifolius* a 97,9 % no filtro coberto de *Typha latifolia*. Um resultado similar foi encontrado por (Qomariyah et al., 2022) no “tratamento das águas cinzentas domésticas por zonas húmidas construídas com *Cyperus alternifolius*”, cujo valor de SST no antigo piloto de 2015 foi de 94,6 % e no novo piloto de 2019 de 95,6 %, a diferença foi da ordem de 1,0 %. Também, os estudos experimentais de Ciria et al., (2005), sobre “o papel da *Typha latifolia* para o tratamento de águas residuais em leito construído e avaliação de seu potencial como combustível de biomassa”, confirmou a proporção de remoção de SST na ordem de 92,0 % no primeiro e no segundo ano de experiência.

Concernente os nutrientes, o filtro plantado de *Cyperus alternifolius* foi mais eficiente em NTK com uma redução de 95,2 % em relação ao filtro coberto de *Typha latifolia* com 90,3 %. Um estudo simular feito por (Nguyen et al., 2021) sobre “o uso de *Cyperus alternifolius* em sistema de *Wetlands* construído de fluxo subsuperficial horizontal para tratamento de águas residuais municipais de Vietnam”, teve uma baixa taxa de remoção de 53,9 % em relação a dos filtros cobertos de vegetais da UNIKIVI, cuja diferença é de 41,3%.

CONCLUSÃO

O resultado obtido sobre o estudo realizado nos pilotos experimentais da UNIKIVI, estudo que visa a avaliar a eficiência de *Typha latifolia* e *Cyperus alternifolius* locais a tratar as águas residuais do campus universitário foi conclusivo.

APÊNDICE

Apêndice 1

Tabela 2. Resumo das análises físico-químicas realizadas sobre as amostras na entrada e saída dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV), com tempo de estadia = 7 dias; n: número de amostra = 36; Max: valor máximo; Min: valor mínimo; méd: valor médio; σ : desvio padrão

Parâmetros	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção (%)			
	Max	Méd	Min	σ	Max	Méd	Min	σ	Max	Méd	Min	σ
CQO	378,0	194,7	66,0	102,2	31,0	23,7	15,0	5,5	95,0	84,0	69,3	9,5
CBO ₅	223,0	119,2	22,0	65,1	5,0	3,5	1,0	1,5	99,2	95,1	77,3	6,0
SST	564,0	385,6	46,0	144,3	10,0	5,3	3,0	2,3	99,3	98,0	91,3	2,3
NTK	258,0	123,0	30,0	73,8	11,0	7,2	4,0	2,4	98,4	90,3	63,3	10,0

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Tabela 3. Resumo das análises físico-químicas realizadas sobre as amostras na entrada e saída dos filtros plantados de *Cyperus alternifolius* (BA), com tempo de estadia = 7 dias; n: número de amostra = 36; Max: valor máximo; Min: valor mínimo; méd: valor médio; σ : desvio padrão

Parâmetros	Efluentes brutos (mg/L)				Águas tratadas (mg/L)				Remoção (%)			
	Max	Méd	Min	σ	Max	Méd	Min	σ	Max	Méd	Min	σ
CQO	378,0	194,7	66,0	102,2	20,0	15,9	13,0	2,4	96,3	88,8	69,7	7,7
CBO ₅	223,0	119,2	22,0	65,1	8,0	6,1	3,0	1,9	98,7	91,6	63,6	9,3
SST	564,0	385,6	46,0	144,3	16,0	9,2	3,0	4,8	99,2	97,0	91,3	2,3
NTK	258,0	123,0	30,0	73,8	4,0	4,0	4,0	0,0	98,5	95,3	86,7	3,4

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Apêndice 2

Tabela 4 (a). Melhoramento do filtro plantado de *Typha latifolia* (BV) considerando a remoção teórica e real do efluente da UNIKIVI após 7 dias

Fidele, M. K., Mbungu, D. M., & Nzuzi, L. M. (2023). Eficiência das tábua larga (*typha latifolia*) e palmeira umbela (*cyperus alternifolius*) no tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas no Campus Universitário Kimpa Vita.

Eficiência do filtro BV				
Parâmetros	CQO	SST	CBO5	NTK
Remoção teórica (%)	84,0	97,9	95,1	90,3
Remoção real (%)	91,7	98,9	97,5	95,0
Melhoramento (%)	+7,7	+1,0	+2,3	+4,6

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Tabela 4 (b). Melhoria do filtro plantado de *Cyperus alternifolius* (BA) considerando a remoção teórica e real do efluente da UNIKIVI após 7 dias

Eficiência do filtro BA				
Parâmetros	CQO	SST	CBO5	NTK
Remoção teórica (%)	88,8	97,0	91,6	95,2
Remoção real (%)	95,6	98,8	96,7	98,1
Melhoramento (%)	+6,8	+1,8	+5,1	+2,9

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

Tabela 5. Melhoria dos filtros plantados de *Typha latifolia* (BV) e *Cyperus alternifolius* (BA) na remoção real do efluente da UNIKIVI após 7 dias

Eficiência real (%) dos filtros BV e BA				
Parâmetros	CQO	SST	CBO5	NTK
BV	91,7	98,9	97,5	95,0
BA	95,7	98,9	96,7	98,2
Melhoramento (%)	-4,0	+0,1	+0,8	-3,2

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbisy, M., & Mandi, L. (1999). Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines: cas du roseau. *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. *Revue des Sciences de l'eau*, 24(1), 35–51. <https://doi.org/10.7202/045826ar>.
- Alexandre, O., Boutin, C., Duchène, P., Lagrange, C., Lakel, A., Liénard, A., & Orditz, D. (1998). *Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*. (Cemagref Éditions, Ed.), Document technique FINDA n°22 (1ère). Lyon.
- Bourrier, R., Satin, M., & Selmi, B. (2017). Guide technique de l'assainissement. 5e ed. Paris: *Le Moniteur*.
- Boutin, C., Liénard, A., & Lesavre, J. (2000). Filières d'épuration pour petites collectivités: Les cultures fixées sur supports fins. *Ingenieries - EAT, IRSTEA*, (24), 3–13.
- Boutin, Catherine, & Dutartre, A. (2014). Des macrophytes pour épurer les eaux? *Sciences Eaux et Territoires: Révue du IRSTEA*, (15), 70–73. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2014.15.13>.
- 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. *Biosystems Engineering*, 92(4), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.08.007>.
- Ebrahimi, A., Taheri, E., Ehrampoush, M. H., Nasiri, S., Jalali, F., Soltani, R., & Fatehizadeh, A. (2013). Efficiency of Constructed Wetland vegetated with *Cyperus alternifolius* applied for Municipal Wastewater Treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2013/815962>.
- Eme, C. (2012). *Traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes - Adaptation de la filière au contexte tropical - État de l'art*. Lyon. Retrieved from: https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2016/10/DOM_Ttt-eaux-usées-par-FP-macrophytes_C.Eme_.pdf.
- Fidele, M. K. (2021). Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par

Fidele, M. K., Mbungu, D. M., & Nzuzi, L. M. (2023). *Eficiência das tábua larga (typha latifolia) e palmeira umbela (cyperus alternifolius) no tratamento de águas residuais por leitos de macrófitas no Campus Universitário Kimpa Vita.*

- filtres plantés des macrophytes: “Cas de l’Université Kimpa Vita d’Uíge /Angola.” *Thèse de Doctorat, Génie Civil* (Université Côte d’Azur), 303p. Retrieved from: <https://theses.hal.science/tel-03198018>.
- Governo de Angola (GoA) (2016). Inquérito de Indicadores Múltiplos e de Saúde 2015-2016. Luanda, Angola.
- Governo de Angola (GoA) & PNUD (2005). Angola: Objectivos do desenvolvimento do milénio 2005. Luanda. Retrieved from: https://planipolis.iiep.unesco.org/sites/planipolis/files/ressources/angola_mdg_2005_port.pdf.
- 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. *Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse*. 194 p. Retrieved from: <https://doi.org/10.5075/EPFL-THESIS-2653>.
- Kone, M., Bonou, L., Kouliadiati, J., Joly, P., & Sodre, S. (2012). Percolation sur sable et sur substrat de coco. in *Révue des Sciences de l’eau*, 25(2), 139-151.
- 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. *TSM*, (11), 45-56.
- Mavioso, J. F. (2010). Tratamento de águas residuais através de Leitos de Macrófitas - A influência da vegetação Engenharia do Ambiente. *Dissertação. instituto Superior Técnico*. 84p. Retrieved from: [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%20águas%20residuais%20através%20de%20Leitos%20de%20Macrófitas%20-%20A%20influência%20da%20vegetação.pdf).
- MK, F., & P, A. (2021). Residual Wastewater Treatment by an Aquatic Plant System in Tropical Area: Assessment of Arundo Donax and Pennisetum Purpureum Schumach. *International Journal of Water and Wastewater Treatment*, 7(1), 1-9. retrieved from: <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. *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. *Chemical Engineering Transactions*, 83, 523-528. retrived from: <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. *European Journal of Scientific Research*, 23(1), 25-40.
- Palaniappan., M., Gleick, P. H., Allen, L., Cohen, M. J., Christian-Smith, J., & Smith, C. (2010). *Clearing the Waters. A focus on water quality solutions*. (N. Ross, Ed.). Nairobi: UNEP.
- Qomariyah, S., Utomo, B., & Wahyudi, A. H. (2022). Constructed wetlands with Cyperus alternifolius as a sustainable solution for household greywater treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1065(1). Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1065/1/012025>.
- Sartori, M. A. (2010). Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades. *Energies*, 6(1), 7.
- Tanner, C. C., Clayton, J. S., & Upsdell, M. P. (1995). Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewater in constructed wetlands. I. Removal of oxygen demand, suspended solids and faecal coliforms. *Water Res.*, 29(1), 27-34. Retrieved from: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00140-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00140-3).
- UNICEF, A., & ADRA, A. (2016). Água e Saneamento em Angola no Orçamento Geral do Estado (OGE) 2016. Luanda. Retrieved from: <https://docplayer.com.br/22931286-Agua-e-saneamento-no-OGE-2016.html>.
- UNICEF, A., & ADRA, A. (2017). Água e Saneamento no OGE 2017. Luanda. Retrieved from [https://www.unicef.org/angola/media/946/file/Água e Saneamento no OGE 2017.pdf](https://www.unicef.org/angola/media/946/file/Água%20e%20Saneamento%20no%20OGE%202017.pdf).
- Vierira, C. (2013). ÁguaGlobal: Cluster da água Angola. A internacionalização do sector português da água. (AEP, Ed.). Porto. Retrieved from: [http://aguaglobal.aeportugal.pt/Documentos/Encerramento/Apresentação Cluster da Água em Angola.pdf](http://aguaglobal.aeportugal.pt/Documentos/Encerramento/Apresentação%20Cluster%20da%20Água%20em%20Angola.pdf).