

DESEMPENHO DE LEITOS DE MACRÓFITAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM CLIMA TROPICAL SECO E POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Data de submissão:

Data de aceite: 02/08/2023

Marla Mujovo

Assistente na Faculdade de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais da Universidade Zambeze-FEARN

Ana Galvão

Professora Auxiliar do Instituto Superior Técnico de Lisboa da Universidade de Lisboa-IST

José Saldanha Matos

Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa-IST

RESUMO: A reutilização da água residual tratada tornou-se uma importante estratégia de conservação dos recursos hídricos, particularmente em regiões que sofrem cronicamente de escassez de água. Atualmente, a prática de reutilização da água tem vindo a aumentar em zonas de clima tropical seco, nomeadamente para a irrigação de culturas agrícolas. No entanto, a divulgação e capacitação para essa prática ainda é muito incipiente e limitada nesses países e regiões. Os leitos de macrófitas têm demonstrado elevada eficiência de remoção de CQO, CBO₅, coliformes fecais e coliformes totais

naquelas regiões climáticas, devido em parte à elevada temperatura, que faz com que a atividade dos microrganismos seja mais acentuada, nomeadamente em processos de degradação de compostos poluentes. Por apresentar baixas exigências de operação e manutenção, e baixos custos, consideram-se os leitos de macrófitas como uma tecnologia especialmente apropriada para o tratamento de águas residuais em regiões em desenvolvimento, com clima tropical seco. A reutilização da água para agricultura, com origem em sistemas adequados de tratamento de águas residuais apresenta várias vantagens e mais valias, designadamente constituírem fontes de água independentes da incerteza climática, e disponibilizarem fertilizantes naturais, com impactos positivos na produtividade agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Águas residuais. Clima tropical. Leitos de macrófitas. Reutilização de água na agricultura.

PERFORMANCE OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT UNDER DRY TROPICAL CLIMATE, AND WATER REUSE POTENTIAL

ABSTRACT: The reuse of treated wastewater is an important strategy for protecting water resources, especially in dry climate countries. Currently, this practice has been used for irrigation, namely in tropical countries, but just a few studies were published in this issue. Constructed Wetlands (CW) have demonstrated high efficiencies in removing COD, BOD₅, and faecal and total coliforms, namely in regions of tropical climate, in part due to high temperatures along the year, which result in relevant activity of the microorganisms in terms of pollutants degradation. CW present low operation costs and limited maintenance requirements, and because of that are being considered one of the most appropriate techniques for wastewater treatment in developing countries. Water reuse, being the water source wastewater treatment plants, present a lot of advantages and added values, including to be a water source independent of climate uncertainty, and to provide natural fertilizers, important for food production.

KEYWORDS: Constructed wetlands. Tropical climate. Wastewater. Water reuse for agriculture.

1 | INTRODUÇÃO

A Água constitui um elemento essencial à vida, sendo o seu abastecimento seguro considerado um indicador fundamental do nível de pobreza e do desenvolvimento sustentável (OMS e UNICEF, 2015). Uma das primeiras ações concertadas, a nível mundial, destinada a avaliar e melhorar indicadores sanitários respeitou os Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM), que definiram, como uma das metas, a redução para metade da população sem acesso seguro a saneamento entre 1990 e 2015. Neste período houve um aumento percentual do acesso a instalações sanitárias, a nível mundial, de 54% para 68%. Infelizmente, a meta definida de 77% não foi atingida, resultado do facto de cerca de 2,4 milhões de pessoas, em 2015, ainda não disporem de acesso a saneamento seguro. Dessas, cerca de 1/3 ainda praticava defecação a céu aberto (UN WATER, 2016). As regiões que se localizam nos trópicos como a África subsariana (695 milhões de habitantes) e sul da Ásia (953 milhões de habitantes) não atingiram a meta constante no ODM (UN WATER, 2016). Para o período 2015-2030, foram definidos um novo conjunto de objetivos e metas, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O Objetivo 6 refere-se especificamente a “Água e Saneamento seguros para todos”. Garantir, universalmente, a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento em 2030. O ODS 6 inclui o acesso equitativo e adequado a saneamento e higiene, com eliminação total da defecação a céu aberto e redução para metade da proporção de águas residuais não tratadas, o aumento da sustentabilidade dos serviços, e o crescimento da reutilização (WWAP, 2015).

Segundo UN Water (2016), até 2030 deverá ter lugar uma expansão da cooperação internacional e apoio à capacitação nos países em desenvolvimento, em várias atividades e programas relacionados com água e saneamento, incluindo a implementação de tecnologias

eficientes de tratamento de água e de reutilização de águas residuais.

Poucas são as cidades e regiões dos países em desenvolvimento que dispõem em operação de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) eficientes, dado a respetivas carências em recursos humanos e económicos. A construção e operação de ETAR acarreta, em regra, elevados encargos, sendo usualmente considerada como segunda prioridade, atrás do abastecimento de água potável e da construção de latrinas melhoradas para higiene pessoal (TRANG *ET AL.*, 2010).

A reutilização dos efluentes tratados para a irrigação agrícola pode constituir um pilar da sustentabilidade em países em desenvolvimento, no qual da prática agrícola depende a sobrevivência de uma grande parte da população, por outro lado, é na componente agrícola, relativamente às componentes doméstica e industrial, que é utilizada a maior proporção de água doce (BAHRI *ET AL.*, 2016).

2 I SANEAMENTO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Estima-se que 60% da população urbana dos países em desenvolvimento viva em bairros informais (UN HABITAT, 2010). Nestes países o crescimento populacional e a migração para a cidade resultam em aumentos desordenados de bairros precários com falta de energia, acessos, comunicações, abastecimento de água e sistemas de saneamento (OMS E UNICEF, 2015).

A prática de agricultura, os resíduos industriais e a poluição causada por deposição descontrolada de resíduos sólidos são consideradas as principais causas da poluição das águas superficiais (WANG *ET AL.*, 2014). A escassez de drenagem e tratamento de águas residuais na maior parte dos países em desenvolvimento, e a densidade de latrinas com construção precária constituem fatores críticos, com impactos na saúde pública, economia e desenvolvimento (CORCORAN *ET AL.*, 2010). Vários países em desenvolvimento são vulneráveis às doenças transmitidas pela água devido a falta de higiene e controlo de qualidade da água consumida (SHINGARE *ET AL.*, 2019).

Os países em desenvolvimento apresentam, na generalidade, como um dos seus grandes objetivos, o aumento da percentagem de população servida com drenagem e tratamento de águas residuais. No entanto, este objetivo, na prática, não tem sido assumido como prioritário devido às despesas avultadas que acarreta. Os fundos para investimento em soluções de saneamento são limitados e as verbas para a operação e manutenção das respetivas infraestruturas são usualmente ainda mais limitadas. Acrescem ainda fatores como a escassez de recursos humanos qualificados e a irregularidade do fornecimento de energia, materiais e reagentes, que constituem obstáculos, em particular à implementação de estações de tratamento de água residuais com sistemas convencionais (SHINGARE *ET AL.*, 2019). Estas situações têm como consequência a descarga das águas residuais não tratadas nos solos ou em rios e lagos (CORCORAN *ET AL.*, 2010; SENZIA *ET AL.*, 2003).

O mesmo acontece com a deposição descontrolada de lamas fecais, após o enchimento das latrinas existentes quando, em meio urbano com elevada densidade de ocupação, já não existe espaço para a construção adicional de novas latrinas.

Moçambique faz parte de um dos países com percentagem elevada de defecação a céu aberto. De acordo com INE, (2017) 23.4 % da população não tem latrinas em suas casas, 37% apresenta latrina tradicional não melhorada e apenas 10.6% tem retrete ligada a fossa séptica. A população servida por redes de coletores não ultrapassará 5%. A guerra civil, que durou entre 1975 e 1992, e o êxodo rural, são considerados como os principais fatores que contribuíram para o fraco desenvolvimento do País (CORREIA, 2017; COLIN, 2002). A falta de apoio técnico e financeiro originou pressão sobre os serviços de saneamento básico e o investimento feito nesses serviços não foi de forma alguma proporcional ao crescimento populacional, verificando-se mesmo um decréscimo da cobertura dos serviços entre a independência, em 1975 e finais da década de 90 (COLIN, 2002).

Atualmente, o tratamento de água residual ainda continua a ser um desafio para as diferentes cidades moçambicanas. Moçambique apresenta estações de tratamento de águas residuais nas cidades de Maputo-Matola, Beira e Vila de Songo (JANE, 2017), sendo a de maior dimensão, a ETAR do Infulene constituída por um sistema de lagunagem, atualmente em fase de reabilitação e beneficiação.

Um dos exemplos de uma cidade populosa Moçambicana sem qualquer tratamento de águas residuais é Tete, atualmente com mais de 300 000 habitantes, de acordo com o censo de 2017 em que a descarga de efluentes e de lamas fecais é feita diretamente ou indiretamente no Rio Zambeze (EEPLAN, 2015).

O deficiente acesso a água potável faz com que a maior parte da população que vive nas margens do rio Zambeze usufrua desta água também para a higiene individual, alimentação e recreio. Esta situação, aliada à não observância de práticas recomendáveis de higiene individual, resulta em doenças vinculadas pela água (SHINGARE ET AL., 2019), nomeadamente graves surtos de cólera.

Autores como Arias et al., (2009, p.1078) afirmam que a solução ideal, do ponto de vista da sustentabilidade, é a reutilização de produtos e sub-produtos do tratamento de águas residuais, especialmente na agricultura, aliviando o stress hídrico e a perda de nutrientes. Ramôa (2010, p.39) afirma que as soluções mais apropriadas para tratamento de águas residuais não devem ser escolhidas apenas por motivos de natureza puramente tecnológica, mas devem ser considerados os recursos humanos e financeiros disponíveis e naturalmente as características socioculturais da população a beneficiar.

Um dos métodos de tratamento de águas residuais mais utilizado em países em desenvolvimento é o das lagoas de estabilização, incluindo lagoas de maturação, cujo desempenho pode ser muito satisfatório, removendo mais de 99,9% de helmintos, vírus e bactérias, obtendo-se um efluente na maior parte das vezes com características compatíveis com o seu uso na agricultura (KIVAISI, 2001). Entretanto Denny (1997, p.30) e Kayombo

et al., (2005, p.3) afirmam que os leitos de macrófitas são as técnicas mais aconselháveis para o tratamento de águas residuais em países de clima tropical, pois apresentam, nessas circunstâncias, elevada eficiência de tratamento, baixas exigências de operação e manutenção, e baixos custos totais. Em termos de tratamento os leitos de macrófitas apresentam a capacidade de remover elevadas concentrações de matéria orgânica e metais pesados devido aos vários processos que ocorrem no solo, incluindo adsorção e filtração (VYMAZAL, 2007) e apresentam, em regra, uma eficiência significativa de remoção de microrganismos patogénicos (OKURUT ET AL., 1999; STOTT ET AL., 1999; AKPONIKPÈ ET AL. 2011). Na tabela 1 apresenta-se sumariamente uma análise comparativa entre lagoas de estabilização e leitos de macrófitas, mencionando as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias.

Uma vantagem adicional que os leitos de macrófitas têm, nomeadamente em climas tropicais, em comparação com as lagoas de estabilização, é o valor económico da biomassa. Murray-Hudson et al., (2011, p.16) descrevem o uso da biomassa das macrófitas como material de construção para revestimentos de paredes e cercas de casas no Botswana. Perbangkhem et al., (2010, p.833) relatam o uso da biomassa de macrófitas para coberturas de casa e guarda sóis, na Tailândia (BELMONT ET AL., 2004).

Herazo et al., (2018, p.2) confirmam que as macrófitas podem ser utilizadas para ornamentação. Jinadasa et al., (2006, p.190) afirmam que a biomassa das espécies *Typha angustifolia* e *Scirpus grossus* serve para o fabrico de utensílios e tem uso medicinal, constituindo uma fonte de rendimento no Sri Lanka. Por outro lado, a biomassa das macrófitas pode também gerar rendimento através do fabrico e comercialização de produtos artesanais (TERER ET AL., 2012).

	Lagoas de estabilização	Leitos de macrófitas
Pontos positivos	Auto-suficiente em termos de tecnologia	Auto-suficiente em termos de tecnologia
	Elevada eficiência de tratamento	Elevada eficiência de tratamento
	Baixo custo de manutenção	Baixo custo de manutenção
	Promoção da biodiversidade	Promoção da biodiversidade
	Capacidade de tolerar flutuações de caudal e tratar efluentes com carga orgânica baixa	Flexibilidade e resiliência a flutuações de cargas orgânicas e de cargas hidráulicas Capacidade de uso da biomassa para rendimento económico adicional
Pontos negativos	Desapropriado a terrenos rochosos fraturados ou permeáveis Necessidades de operação e manutenção	Necessidade de ocupação de grandes áreas
	Evita o desenvolvimento de vegetação, sobre os diques	Verificação e controlo de distribuição de caudais
	Remoção de plantas das lagoas facultativas e de maturação	Verificação do estado das plantas e substituição, caso necessário
	Remoção de sólidos acumulados a entrada e a saída	
	Reparação dos problemas nos diques Ocupação de maior área de implantação em comparação aos leitos de macrófitas	Remover entupimentos nas estruturas de entrada e saída dos leitos Controlar os processos de erosão do solo.

Tabela 1: Análise comparativa de opções de tratamento biológico por lagoas de estabilização e leitos de macrófitas

Fonte: Adaptado de Ramôa, 2010

3 I DESEMPENHO DE LEITOS DE MACRÓFITAS EM CLIMA TROPICAL

3.1 Estudos analisados

Apesar da literatura associada ao desempenho dos leitos de macrófitas ser extensa e variada, os estudos realizados em países de clima tropical são ainda bastante limitados. A comparação dos resultados dos vários estudos é ainda dificultada pela ausência de uniformização de parâmetros em análise, assim como das variadas condições operacionais das diversas instalações.

No âmbito do presente trabalho foram analisados 29 estudos desenvolvidos em países de clima tropical, dos quais 11 no continente Africano, 9 estudos no continente Asiático, 7 no continente Americano e 2 no continente Australiano. O efluente selecionado tratou-se de águas residuais domésticas e industriais, cobrindo leitos de macrófitas de fluxo sub-superficial vertical e horizontal, com pré-tratamento. Dos 29 estudos revistos, as espécies de macrófitas mais utilizadas foram do género *Typha*, *Phragmites* e *Cyperus*,

tendo-se observado também a utilização de *Scirpus grossus*, *Zantedeschia aethiopica*, *Sesbania sesban*, *Juncus effusus*, *Miscanthidium violaceum*, *Colocasia esculenta*, *Oryza sativa* L, e *Canna iridiflora*. Os parâmetros analisados incluíram parâmetros físicos, como Sólidos Suspensos Totais (SST), parâmetros químicos, como a Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio aos 5 dias e a 20°C (CBO₅), Azoto total, Nitratos (NO₃-), Amônia (NH₄), Fósforo total (TP) e parâmetros microbiológicos, nomeadamente Coliformes fecais (CF) e Coliformes Totais (CT).

3.2 Eficiência de remoção de poluentes

O tratamento de águas residuais através de leitos de macrófitas é recomendado por vários autores devido às suas características (DENNY., 1997; KIVAISI., 2001; VYMAZAL., 2014). O incentivo ao uso desta técnica em climas tropicais é relevante devido às condições climáticas que facilitam o crescimento das macrófitas (ARIAS e BROWN, 2009).

Zhang et al., (2011, p.1614-1615), Kaseva (2004, p.682) e Truu et al., (2009, p.3959-3960) afirmam que atividade microbiana do interior de leitos de macrófitas aumenta com o incremento da temperatura e conseqüentemente o leito apresenta melhor eficiência na remoção dos poluentes. Tunçsiper (2009, p.470) relata ainda a variação de eficiência no que respeita a remoção de amônia e nitratos, que é superior no período de verão em comparação com o que ocorre no período de inverno, sendo o ambiente tropical favorável no que respeita aos processos de biodegradação da matéria orgânica e em termos de processos de nitrificação/desnitrificação.

Os leitos de macrófitas são utilizados não só para o tratamento de águas residuais, mas também para tratamento de efluentes de unidades industriais Maine et al., (2007, p.76), efluentes agrícolas, recuperação de águas contaminadas na natureza, por exemplo de lagos Martín et al., (2013) e de efluentes hospitalares Shrestha et al., (2001).

Trang et al., (2010, p.527) estudaram o efeito da temperatura em sistema de tratamento de águas residuais a operar no Vietnam, tendo observado que o aumento da temperatura teve um impacto significativo na degradação da matéria orgânica, e nos processos de nitrificação e desnitrificação. Aqueles autores observaram que a eficiência de remoção dos poluentes foi elevada: entre 57% e 84% para a CQO, entre 76 e 83% para a CBO₅, entre 16 e 84% para o azoto total, entre 65 e 91% para a amônia e entre 72 e 99% para o fósforo total.

Meutia (2001, p. 499) analisou a eficiência de tratamento das águas residuais com leitos de macrófitas de fluxo sub-superficial em operação na Indonésia, tendo observado que, na época seca, a eficiência de remoção da CQO e do fósforo total tinha sido de 95%, e de 82% para o azoto total. Na época de transição do período seco para o período chuvoso, observou-se uma eficiência de remoção de 73% para a CQO, 89% para o azoto total, e 95% para o fósforo total. Esta autora concluiu que as eficiências de remoção eram afetadas mais

ou menos significativamente pelas mudanças sazonais.

No Sri Lanka, Weragoda et al., (2012, p.958) estudaram a eficiência de leitos de macrófitas para tratamento de águas residuais de residências da Faculdade de Engenharia da Universidade de Peradeniya, com duas espécies de macrófitas *Typha angustifolia* e *Canna iridiflora*. A espécie *Typha angustifolia* mostrou melhor eficiência de remoção da CBO_5 e da amônia (80%) em comparação com a *Canna iridiflora* (40%) devido ao maior crescimento radicular, apresentando maior desempenho no que respeita extrair os nutrientes das águas residuais, permitindo interações entre a interface água/planta. Kantawanichkul et al., (2013, p.601) estudaram o desempenho de leitos de macrófitas de fluxo vertical e de fluxo horizontal. Os autores concluíram que os leitos de fluxo horizontal apresentaram eficiências de remoção superiores, entre 54,8 e 64,8%, no que respeita a remoção da CQO, em comparação com os leitos de fluxo vertical, que apresentaram eficiências de remoção da CQO, nas mesmas condições, entre 32,9 % e 50,4%.

No México, Belmont et al., (2004, p.304) estudaram o funcionamento dos leitos para tratamento de efluentes descarregados no Rio Texcoco provenientes da comunidade de Santa Maria Nativitas. Obtiveram eficiências de remoção de 80% em SST, CQO e nitratos. A eficiência de remoção da amônia foi de 50%.

Na Colômbia, Arias et al., (2009, p.1078) concluíram que os leitos de macrófitas apresentavam eficiências de tratamento adequadas, suficientes para cumprir a legislação e podiam ser usados para servir pequenas comunidades. Os autores verificaram eficiências de 62,5% no que respeita a NH_4 , 63,4% em azoto total, 92,3 % em CBO_5 e 40% em fósforo total.

Greenway et al., (1999) e Greenway (2005) descrevem a importância do recurso a leitos de macrófitas na cidade de Queensland, na Austrália, e abordam a reutilização dos efluentes tratados por leitos de macrófitas para uso na irrigação de culturas agrícolas, parques e jardins públicos. Os leitos de macrófitas foram adotados num projeto gerido pelo governo estadual para aumentar a qualidade do efluente secundário. A eficiência de remoção foi de 89% em termos da CBO, 77% em SST, 86% em Azoto e 95% na amônia.

Okurut et al., (1999) investigaram a viabilidade dos leitos de macrófitas a operar no Uganda, utilizando dois tipos de plantas nativas, *Phragmites mauritianus* e *Cyperus papyrus*, para tratamento de água residual durante 11 meses. Neste estudo, a espécie *Cyperus papyrus* apresentou resultados de remoção da CQO igual a 3.75 g/m².dia; NH_4^+ de 1.01g/m². dia e PO_4^- de 0.05 g/m².dia. Com a espécie *Phragmites mauritianus*, a remoção da CQO foi de 1.52 g/m².dia; a NH_4^+ de 0.97 g/m².dia e o PO_4^- , 0.068 g/m². dia.

Também no Uganda, Kyambadde et al., (2004) estudaram a eficiência de tratamento de águas residuais de leitos de macrófitas com duas plantas nativas *Cyperus papyrus* e *Miscanthidium violaceum*. Considerando a influência do clima tropical na cidade de Kampala, concluíram que a eficiência de remoção de nitratos e fósforo em leitos plantados por *Cyperus papyrus* tinha sido de 75,2% para nitratos e 83, 2% para fósforo. Para os leitos

plantados com *Miscanthidium violaceum*, foi de 61,5% para nitratos e 48,4% para o fósforo. Estes valores foram superiores aos dos leitos sem plantas (controle) que foi de 27,9%. De forma análoga, Kansiime et al., (2005) estudaram em instalações no Uganda, a eficiência da remoção de azoto e fósforo em leitos com e sem plantas, tendo concluído que as raízes das macrófitas desempenhavam um papel importante na remoção dos poluentes nitratos e fósforo, o que não se verificava em leitos sem macrófitas. Mbuligwe (2011) desenvolveu uma extensa revisão de literatura no que respeita à eficiência de leitos de macrófitas para tratamento de vários tipos de efluentes, de sistemas da Tanzânia. Os resultados mostraram eficiências de remoção entre 70-88% para a CQO, 46-75% para a amónia, 69-75% para o fósforo e 55-77% em termos de sulfatos. Mburu et al., (2013) estudaram o desempenho dos leitos de macrófitas com fluxo sub-superficial horizontal para o tratamento de água residual em condições tropicais, no Quênia, tendo observado a satisfação dos padrões de descarga legais em termos da CBO₅ e CQO, sólidos dissolvidos totais e sulfatos. Kassaye et al., (2016) utilizaram macrófitas para o tratamento de águas residuais descarregadas nos lagos de vale do Rift, na Etiópia. Neste estudo foram encontradas elevadas concentrações de cromo, níquel, zinco, chumbo (metais pesados) nas folhas, e concluíram que algumas das macrófitas estudadas acumularam uma alta concentração de metais pesados em relação ao ambiente circundante, demonstrando o seu potencial para controlo da poluição.

Mujovo (2021, p.126) estudou o desempenho do leito de macrófitas em clima tropical seco na cidade de Tete, em Moçambique, tendo confirmado que as eficiências de remoção tendiam a decrescer com o aumento da carga hidráulica. Para cargas hidráulicas entre 0,064m/d e 0,072 m/d, correspondente ao período mais fresco do ano naquela cidade (meses de Julho e Agosto) verificou-se uma eficiência de remoção superior a 50%. No período mais seco, entre Setembro e Outubro, a eficiência diminuiu, variando entre 18% e 47%, o que será devido à influência da temperatura no processo de evapotranspiração, conduzindo a uma concentração mais acentuada dos poluentes, no efluente descarregado. Constatou-se ainda que em dias chuvosos a eficiência mais elevada de remoção da CQO atingiu 65% devido muito possivelmente ao efeito de diluição provocado pela precipitação. A eficiência de remoção foi menor nos dias sem chuva. Estas conclusões carecem de validação, devido ao número reduzido de dados.

Na figura 1 apresenta-se a eficiência de remoção da CQO em função da carga hidráulica, tendo sido elaborado a partir dos estudos realizados em países de clima tropical. Verifica-se que a eficiência de remoção varia entre 55% e 96% para cargas hidráulicas entre 2,3 até 8,33 cm/dia, sem correlação aparente.

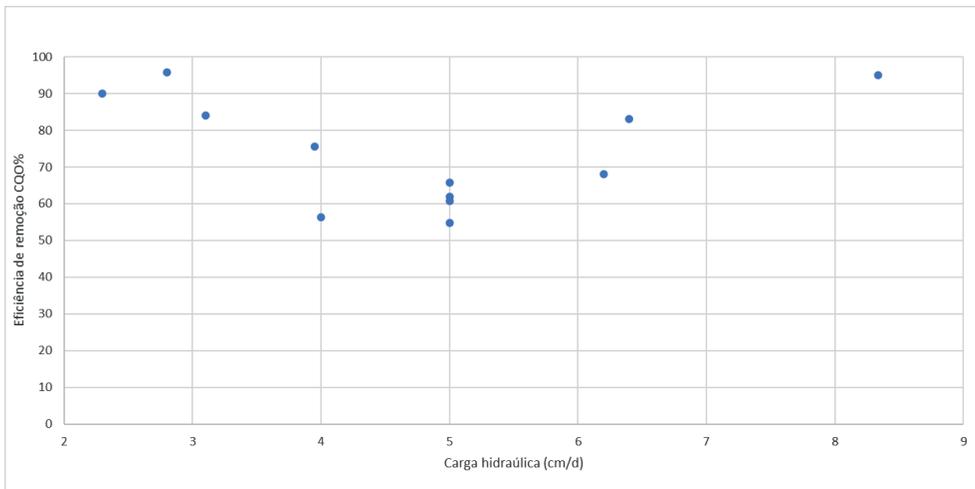


Figura 1: Influência da carga hidráulica na remoção de CQO em estudos realizados com leitos de macrófitas a operar em países de clima tropical

Na tabela 2 apresentam-se os resultados de eficiência de remoção dos leitos de macrófitas, o tipo de efluentes, as condições operacionais, e o tipo de plantas reportados nos estudos analisados. Todos esses estudos consideram um nível de tratamento secundário dos afluentes. No qual o CF e CT representam Coliforme fecal e total, QA (m^3/d) representa o Caudal de entrada, THR representa o Tempo de retenção hidráulico e CH representa a Carga hidráulica (m/d).

Localização	Tipo de efluente	Eficiência de remoção (%)									Operacionalização			Macrófitas	Referência
		CF	CT	TSS	CQO	NH ₄	NO ₃	TN	CBO	TP	QA (m ³ /d)	TRH (dias)	CH (m/d)		
Paradenesia, Sri Lanka	Municipal e Secundário			76		58,6	38,8		54,3	14,9		18h		Typha angustifolia	Jinadasa et al. (2006)
Singapore	Municipal e Secundário				95,8	95,2				69,6		4	0,028	Typha angustifolia	Zhang et al. (2012)
Malasya	Municipal e Secundário			92	65,8				74,9			3	0,0017	Typha angustifolia	Seswoya et al. (2010)
Jakarta, Indonésia	laboratório e municipal				95	97,21	86	66		37,3	0,025	1	0,083	Typha sp;	Meutia (2001)
Blackall, Austrália	Municipal e terciário					92,3	87,5	76	75					-	GREENWAY (2005)
Chiang Mai, Tailândia	Municipal e secundário			98	54,8 - 64,8			41		47		5	0,05 - 0,20	Cyperus alternifolius Linn.	KANTAWANICHKUL et al., (2013)
México, ocotlán, Jalisco	Municipal/ secundário		93,1	79,2	75,5	48,6	28,7	53,7	76	44,7	0,128	4	0,03 95	Zantedeschia aethiopica	ZURITA ET AL., (2009)
Bogotá Savannah, Columbia	Municipal e secundário	96,9				62,5		63,4	92,3	40		4,5	0,10 - 0,40	-	ARIAS ET AL., (2009)
Tete, Moçambique	Municipal	96			83						0,016 - 0,023	03-Feb	0,06 4	Phragmites Australis	MUJOVO (2021)
Tanzânia	Dormitório estudantil e secundário	68	57		56,3	25,2	40,3				0,6		0,04	Phragmites mauritanus	KASEVA (2004)
Kampala, Uganda	Municipal e Secundário e terciário					75,3		69,5		88,9	0,064			Cyperus papyrus	KYAMBADE et al., (2004)
Jimma, Etiópia	Dormitório estudantil e Secundário			75,91	65,71				80,8			4	0,05	Cyperus papyrus	HADDIS et al., (2019)

Kampala, Uganda	Obras de esgoto/ terciário					89,4		90,4		85				Cyperus papyrus	KANSIIME et al., (2005)	
Brasília, Brasil	Municipal e secundário								99			2	0,048 - 0,15	Oryza sativa L	SILVA et al., (2015)	
Costa rica	Restaurante/ secundário			64	60			31	57	12	16			Heliconia	SALAZAR et al., (2018)	
Vietnam	Dormitório estudantil/ secundário			93	84	91		84	83	99	31	13,9	0,031	Phragmites vallatoria	TRANG et al., (2010)	
Kaduna, Nigéria	Residual de refinaria de petróleo/ secundário			78	52								0,00133	Typha latifolia	MUSTAPHA et al., (2018)	
Hau Giang, Vietnam	Residuais domésticas				58	74		52	67	65		3,3	0,32	Sesbania sesban	DAN et al., (2011)	
Nairobi, Quênia	Municipal secundário			71	86	8			87	26	3	1,5		Cyperus papyrus	MBURU et al., (2013)	
Londrina, Brasil	Industrial/ secundário				22							0,03	1	0,075	Juncus effusus	SANTOS et al., (2016)

Tabela 2: Eficiência de remoção de leitos de macrófitas a operar em países de clima tropical

Fonte: Autores

4 | APLICAÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS NA AGRICULTURA

Em locais onde existe elevada pressão sobre os recursos hídricos a reutilização das águas residuais para irrigação pode fornecer um forte impulso económico, em particular às comunidades que praticam agricultura de subsistência, que muitas vezes são as mais desfavorecidas e vulneráveis. A reutilização de efluentes contribui para conservar recursos hídricos e o meio ambiente (SHUVAL, 1990). A reutilização de águas residuais tratadas para seu uso posterior na agricultura tem-se tornado uma opção atrativa em todo o mundo, mas particularmente nos países em desenvolvimento, em face dos seus impactos positivos (BENDAHMANE, 1992).

No entanto, esta prática apresenta impactos significativos, tanto positivos como negativos. Um exemplo de impacto positivo, para além de fornecimento de água, é o fornecimento de fertilizantes naturais (FAO, 2012).

Os impactos negativos, segundo a FAO (2012), desrespeitam aos microrganismos patogénicos e seus riscos em termos de saúde pública. Poucos estudos epidemiológicos estabeleceram claramente os impactos adversos na saúde devido à prática de irrigação com efluentes, em função das suas características. Shuval et al., (1985, p. 437) relataram evidências associando a reutilização de águas residuais tratadas com a ocorrência de doenças. Esses autores publicaram dados epidemiológicos que relataram a ocorrência de cólera em Jerusalém, entre 1935 e 1982, devido ao consumo de hortícolas e vegetais consumido crus, irrigados com água residual não tratada. De acordo com a FAO (1992), as doenças causadas por *Ascaris e Trichuris spp.* são endémicas em populações em que as águas residuais não tratadas são utilizadas para irrigar hortícolas e outros vegetais que são consumidos crus. Para minimizar este contágio EPAU (1993) aconselha o tratamento da água residual através de um tratamento secundário, seguido por filtração e desinfecção adequadas.

No Gana, Keraita et al., (2007) estudaram a eficiência dos períodos de interrupção da rega antes da colheita, nos efeitos da redução da carga microbiana de alface irrigada com água residual tratada. Estes autores concluíram que a interrupção é relevante para a redução dos coliformes fecais e ovos de helmintos nas folhas da alface, traduzindo-se num aumento da segurança alimentar, apesar de se ter também observado, naturalmente, uma perda significativa de peso fresco dos produtos.

Uma outra abordagem apresentada por Drechsel et al., (2008,...) consiste no uso da irrigação por aspersão apenas para culturas que não sejam consumidas cruas. A mesma abordagem e cuidados foram seguidos na Etiópia por Weldesilassie et al., (2011), na Índia por Shingare et al., (2019) e na Austrália por Petterson et al., (2001) e Barker et al., (2013).

Outro impacto negativo descrito por Silva (2007,...) está relacionado com a salinização dos solos irrigados, devida às concentrações de sais solúveis, como o sódio, nas águas residuais. A acumulação de metais pesados no solo também constitui um risco,

sobretudo no caso de rega com efluentes industriais, devendo ser dada especial atenção ao cádmio, porque tem maior facilidade de ser absorvido pelas culturas FAO (2003).

Jaramillo et al., (2017,...) descrevem os benefícios e riscos de uso de águas tratadas na agricultura, na Colômbia, demonstrando a possibilidade de alterações na estrutura e magnitude da biomassa e atividade microbiana no solo cultivado. Akponikpè et al., (2011,...) reutilizaram água tratada por um sistema de leito de macrófitas durante três anos (2001-2003) no Burkina Faso, a fim de avaliar o risco de degradação de parâmetros físico-químicos e biológicos das culturas irrigadas com águas residuais tratadas. Neste estudo foram obtidos aumentos de 40% na produção de beringelas irrigadas com efluentes tratados. Os autores afirmam que o crescimento da produção foi influenciado pela qualidade da água e pelos nutrientes fornecidos, mas principalmente porque os nutrientes eram fornecidos de forma contínua e não intermitente.

Estudo idêntico foi realizado por Mujovo (2021, p.133,137) na cidade de Tete, em Moçambique, com o objetivo de comparar a produção dos alimentos irrigados com água tratada por leito de macrófitas, com os alimentos irrigados com água do rio Zambeze. Os resultados revelaram que a alface e o tomate irrigados com água tratada por leitos de macrófitas apresentaram um aumento de produtividade de 55 % e 33 %, respetivamente, face a culturas irrigadas com água retirada do rio Zambeze. Em sentido inverso, observou-se uma diminuição de 18% na produção da beringela irrigada com água residual tratada, que se atribuiu à maior sensibilidade desta cultura relativamente à salinidade presente na água residual tratada.

No que respeita aos parâmetros microbiológicos, foi observada a presença de coliformes fecais e totais na alface irrigada com água tratada pelos leitos de macrófitas, tendo-se concluído que a presença de coliformes fecais e totais podia estar relacionada sobretudo com o tipo de rega- rega manual por aspersão acima da cultura, que no caso da alface contribuiu para a fixação dos coliformes nas folhas da alface.

Almuktar et al., (2018,p...) afirmam, no contexto da necessidade de se apostar na reutilização da água, que existe uma forte probabilidade de vários países do mundo agravarem os seus problemas de escassez hídrica, devido aos efeitos das alterações climáticas. As regiões africanas que podem ser afetadas incluem, entre outras, a Tanzânia, o Zimbábwe, o Quênia, o Malawi, o Ruanda a Somália e Moçambique, e ainda países com clima tropical noutros continentes, como as Ilhas Comores, o Haiti e o Peru.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de leitos de macrófitas para tratamento de água residual com posterior uso na agricultura está amplamente divulgado, embora exista carência de resultados de monitorização em muitas regiões do globo, em especial em países em desenvolvimento e em regiões de clima tropical. A revisão apresentada incide em particular sobre a eficiência

da tecnologia de tratamento por leitos de macrófitas, ou seja, de base natural, na remoção de poluentes, e do aproveitamento das águas residuais tratadas em irrigação agrícola.

A reutilização da água tratada para produção de alimentos apresenta algumas vantagens claras pois, para além do fornecimento da água, resulta em redução de encargos com fertilizantes artificiais, sem comprometer a produtividade agrícola.

Por forma a garantir uma produção adequada, sustentável e segura, é necessário ter em consideração diversos fatores, nomeadamente os níveis de salinidade dos efluentes e a sensibilidade das culturas a essa situação, e os riscos de contaminação por microrganismos patogénicos para a saúde pública. Apesar dos leitos de macrófitas em países de clima tropical conduzirem, em regra, a uma elevada remoção de diversos poluentes, como a Carência química de oxigénio e os Totais de sólidos dissolvidos, a qualidade bacteriológica dos efluentes não é, em regra, suficiente por si só para garantir a irrigação de culturas consumidas cruas sem riscos para a saúde pública.

REFERÊNCIAS

AKPONIKPÈ, P. B; IRÉNIKATCH. *et al.* Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: Benefits and risks. **Agricultural Water Management**. V98, n.5 p834–840. 2011. Doi: 10.1016/j.agwat.2010.12.009.

ALMUKTAR, Suhad A. A. N; ABED, Suhail N; SCHOLZ, Miklas. Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. **Environmental Science and Pollution Research**. V.25, n.24, p.23595–23623. 2018. Doi: 10.1007/s11356-018-2629-3.

ARIAS, Maurício; BROWN, Mark. Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Colombia. **Ecological Engineering**. V.35, n.7, p.1070–1078. 2009. Doi: 10.1016/J.ECOLENG.2009.03.017.

BAHRI, A; DRECHSEL, P; BRISSAUD, F. Water reuse in Africa: challenges and opportunities. Paper presented at the First African Water Week: **Accelerating Water Security for Socio-Economic Development in Africa**, Tunis, 26-28 March 2008. September (2016).

BARKER, Fiona; TOOLE, Joanne; SINCLAIR, Martha; LEDER, Karin; MALAWARAARACHCHI, Manori; HAMILTON, Andrew. A probabilistic model of norovirus disease burden associated with greywater irrigation of home-produced lettuce in Melbourne, Australia. **Water Research**. V.47, n.3, p.1421–1432. 2013. Doi: 10.1016/j.watres.2012.12.012.

BELMONT, M; CANTELLANO, E; THOMPSON, S; WILLIAMSON, M; SÁNCHEZ, A; METCALFE, C. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. **Ecological Engineering**. V.23, n.4, p.299–311. 2004. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2004.11.003.

CASELLES-OSORIO, Aracelly; VEGA, Hamer; LANCHEROS, Juan; CASSIERA-MARTINEZ, Henry; MOSQUERA, Jose. Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus articulatus* L. **Ecological Engineering**. v. 99, p.479–485. 2017. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.11.062.

COLIN, Jeremy - Programa Nacional de Saneamento em Moçambique: Pioneiro no Saneamento Suburbano. **THE WORLD BANK (Ed.) - Water and Sanitation Program-Africa Region (WSP-AF)**. Nairobi; Kenya: [s.n.]. p.1–8. 2022.

CORCORAN, Emily.; GRID--ARENDAL. - Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development: a rapid response assessment. [S.l]: [UNEP/GRID-Arendal], 2010. ISBN 9788277010755.

DAN, Truong; QUANG, Le; CHIEM, Nguyen; BRIX, Hans. Treatment of high-strength wastewater in tropical constructed wetlands planted with *Sesbania sesban*: Horizontal subsurface flow versus vertical downflow. **Ecological Engineering**. V.37, n.5, p.711–720. 2011. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.07.030.

DENNY, Patrick - Implementation of constructed wetlands in developing countries. **Water Science and Technology**. V.35, n.5, p.27–34. 1997. Doi: 10.1016/S0273-1223(97)00049-8.

DIANE BENDAHMANE - Water Reuse in Developing Countries. Water and sanitation for Health project. USA. 1992. Acesso 18 de junho 2017. Disponível em www.ircwash.org/sites/default/files/351.0-93WA-10841.pdf.

DRECHSEL, P; KERAITA, B; AMOAH, P; ABAIDOO, R; RACHID-SALLY, L; BAHRI, A. Reducing health risks from wastewater use in urban and peri-urban sub-Saharan Africa: Applying the 2006 WHO guidelines. **Water Science and Technology**. v.57, n.9, p.1461–1466. 2008. Doi: 10.2166/wst.2008.245.

EEPLAN - Elaboração de Termos de Referência para o Projeto Executivo de Saneamento da Cidade de Tete. 2015.CD-ROM.

EPAU ENVIRONMENT PROTECTION AUTHORITY VICTORIA - Guidelines for wastewater irrigation. Publication 168. Jun.1983.

FAO - The State of Food and Agriculture Investment 2012. Roma. 2012. ISBN 9789251073179.

FAO - User's manual for irrigation with treated wastewater. Cairo. 2003. ISBN TC/D/Y5009F/1/10.03/100.

FAO - Wastewater treatment and use in agriculture 1992. Relatório n.47. Roma.1992.

GREENWAY, Margaret - The role of constructed wetlands in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia. **Ecological Engineering**. v.25.n5 p.501–509. 2005. Doi: 10.1016/J.ECOLENG.2005.07.008.

GREENWAY, Margaret; WOOLLEY, Anne. Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation. **Ecological Engineering**. ISSN 09258574. V.12, n.1–2, p.39–55. 1999. Doi: 10.1016/S0925-8574(98)00053-6.

HAARHOFF, Johannes; MERWE, Ben VAN DER. Twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. **Water Science and Technology**. ISSN 0273-1223. V.33:10–11 p.25–35. 1996 doi: 10.1016/0273-1223(96)00403-9.

HADDIS, Alemayehu; BRUGGEN, Bart; SMETS, Ilse. Constructed wetlands as nature based solutions in removing organic pollutants from wastewater under irregular flow conditions in a tropical climate. **Ecohydrology and Hydrobiology**. 2019. Acessado em 17 de fevereiro de 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.03.001>.

HERAZO, Luís; LASSMAN, Alejandro; MUNIZ, José; CONTRERAS, Juan; Castro, Sérgio. Effects of the use of ornamental plants and different substrates in the removal of wastewater pollutants through microcosms of constructed wetlands. **Sustainability** (Switzerland). V.10, n.5. Doi: 10.3390/su10051594.

INE - Resultados do Censo 2017 Apresentação Final. Maputo. 2017).

JANE, Assucena Francisco - **Tratamento de Águas Residuais e Gestão de Lamas Fecais em Moçambique: Ponto de Situação, Desafios e Perspetivas Engenharia do Ambiente**. 2017. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) - Departamento de engenharia civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2017.

JARAMILLO, María Fernanda; RESTREPO, Inés. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. **Sustainability**. V.9, n.10. 2017. Doi: 10.3390/su9101734.

JINADASA, K; TANAKA, N; MOWJOOD, M; WERELLAGAMA, D. Free water surface constructed wetlands for domestic wastewater treatment: A tropical case study. **Chemistry and Ecology**. V.22, n.3, p.181–191. 2006. Doi: 10.1080/02757540600658849.

KANSIIME, F.; ORYEM-ORIGA, H.; RUKWAGO, S. Comparative assessment of the value of papyrus and cocoyams for the restoration of the Nakivubo wetland in Kampala, Uganda. **Physics and Chemistry of the Earth**. V.30, n.11-16, p.698–705. 2005. Doi: 10.1016/j.pce.2005.08.010.

KANTAWANICHKUL, Suwasa; WANNASRI, Suparurk - Wastewater treatment performances of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetland systems in tropical climate. **Journal of Science and Technology**. V.35, n.5, p.599–603. 2013.

KASEVA, M. E. - Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater - A tropical case study. **Water Research**. V.38, n.3, p.681–687. 2004 Doi: 10.1016/j.watres.2003.10.041.

KASSAYE, A. Yetneber. SKIPPERUD, Lindis; EINSET, John; SALBU, Brit. Aquatic macrophytes in Ethiopian Rift Valley lakes; Their trace elements concentration and use as pollution indicators. **Aquatic Botany**. V.134, p.18–25. 2016. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.06.004>.

KAYOMBO, S; Mbwete, T; Katima, J. Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual. Tanzania: DaNIDA ENRECA, 2005.

KERAITA, Bernard; KONRADSEN, Flemming; DRECHSEL, Pay; ABAIDOO, Robert. Reducing microbial contamination on wastewater-irrigated lettuce by cessation of irrigation before harvesting. **Tropical Medicine and International Health**. v.12, SUPPL. 2, p.8–14. 2007. Doi: 10.1111/j.1365-3156.2007.01936.x.

KIVAISI, Amelia K. - The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**. V.6, n.4, p.545–560. 2001.

KYAMBADDE, Joseph; KANSSIME, Frank; GUMAELIUS, Lena; DALHAMMAR, Gunnel. A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. **Water Research**. V.38, n.2 p.475–485. 2004. Doi: 10.1016/j.watres.2003.10.008.

LIM, P. E.; WONG, T. F.; LIM, D. V. - Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and subsurface-flow constructed wetlands under tropical conditions. *Environment International*. V.26, n.5–6, p.425–431. 2001. Doi: 10.1016/S0160-4120(01)00023-X.

MAINE, M. A; SUNE, N. Temporal and spatial variation of phosphate distribution in the sediment of a free water surface constructed wetland. *Science of The Total Environment*. V.380, n.1–3, p75–83. 2007. Doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2006.11.036.

MARTÍN, M; GARGALLO, S; HERNANDEZ-CRESPO, C; OLIVER, N. Phosphorus and nitrogen removal from tertiary treated urban wastewaters by a vertical flow constructed wetland. **Ecological Engineering**. V.61, p.34–42. 2013. Cessado em Jun.2018. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2013.09.046>.

- MBULIGWE, Stephen - Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater. *Ecological Engineering*. V.23, p.269–284. 2004.
- MBULIGWE, Stephen; KASEVA, Mengiseny; KASSENGA, Gabriel. Applicability of Engineered Wetland Systems for Wastewater Treatment in Tanzania – A Review. *The Open Environmental Engineering Journal*. v4, n.1 p.18–31. 2011. Doi: 10.2174/1874829501104010018.
- MBURU, Njenga *et al.* - Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *Journal of Environmental Management*. ISSN 03014797. 128:2013) 220–225. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.031.
- MEUTIA, A. A. - Treatment of laboratory wastewater in a tropical constructed wetland comparing surface and subsurface flow. **Water Science and Technology**. V.44, n.11–12, p.499–506. 2001. Doi: 10.2166/wst.2001.0872.
- MUJOVO, Marla - **Desempenho de Leitos de Macrófitas em Regiões de Clima Tropical Seco**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia ambiental) - Departamento de Engenharia civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.2021.
- MURRAY-HUDSON, Michael; MMOPELWA, Gagoitsepe - Biomass Production and Economic Value of *Phragmites australis* Reedbeds in the Southern Okavango Delta , Botswana. **The African Journal of Plant Science and Biotechnology**. 5:Special, Issue 1, p.16–20. 2011.
- MUSTAPHA, Hassana Ibrahim; BRUGGEN, Hans Johan Jacobus Albert VAN; LENS, Piet N. L. - Vertical subsurface flow constructed wetlands for the removal of petroleum contaminants from secondary refinery effluent at the Kaduna refining plant (Kaduna, Nigeria). **Environmental Science and Pollution Research**. V.25, n.30, 2018. p.30451–30462. Doi: 10.1007/s11356-018-2996-9.
- OKURUT, T. O; RIJS, G. B. J; BRUGGEN, J. J. A. VAN. Design and performance of experimental constructed wetlands in Uganda, planted with *Cyperus papyrus* and *Phragmites mauritianus*. **Water Science and Technology**. V.40, n.3, p.265–271. 1999. Doi: 10.1016/S0273-1223(99)00421-7.
- OMS E UNICEF - 25 Years Progress on Sanitation and Drinking Water. 2015 Update and MDG Assessment.
- PERBANGKHEM, Thaneeya; POLPRASERT, Chongchin. Biomass production of papyrus (*Cyperus papyrus*) in constructed wetland treating low-strength domestic wastewater. **Bioresource Technology**. V.101, n.2. p833–835. 2010 Doi: 10.1016/j.biortech.2009.08.062.
- PETTERSON, S. R; ASHBOLT, N. J; SHARMA, A. Microbial Risks from Wastewater Irrigation of Salad Crops: A Screening-Level Risk Assessment. **Water Environment Research**. V.73, n.6, p.667–672. 2001. Doi: 10.2175/106143001x143402.
- RAMÔA, Ana Rita Caldeira - Contribuição para a evolução do abastecimento de água e do saneamento de águas residuais em áreas peri-urbanas dos Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) - departamento de engenharia civil, Instituto superior técnico de Lisboa. Lisboa.
- SALAZAR, Roy; APARICIO-MORA, Carmen; CHINCHILA, Carolina; MARIN, Mohammad. Biogardens as constructed wetlands in tropical climate: A case study in the Central Pacific Coast of Costa Rica. **Science of The Total Environment**. V.658, 2018. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.259.
- SANTOS, Bruna; COSTA, Poliana; EYNG, Eduardo; CAMARA, Carla. Avaliação da Eficiência de Um Sistema de Tratamento por Wetland Construído Aplicado ao Efluente de um Frigorífico de Suínos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**. v37, n.2, p.13. 2016. [https://doi: 10.5433/1679-0375](https://doi.org/10.5433/1679-0375).

- SCHUTTE, Frederik - Water reuse in Central and Southern Regions of Africa. *Water Reuse - An International Survey of current practice, issues and needs* by B. Jiménez et al. London, UK. ISSN 1476-1777. 2008) 161. doi: 10.2166/9781780401881.
- SENZIA, M., MASHAURI, D., MAYO, A. - Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal. **Physics and Chemistry of the Earth**. V.28, p.301–310. 2003.
- SESWOYA, Roslinda; ZAINAL, Mohammad Yusri - subsurface - flow constructed wetland : Proposed design area for high strength effluent domestic wastewater. *Malasya* : [s.n.]
- SHINGARE, Rita; THAWALE, Prashant; RAGHUNATHAN, Karthik; MISHRA, Apurva; KUMAR, Sunil. Constructed wetland for wastewater reuse: Role and efficiency in removing enteric pathogens. **Journal of Environmental Management**. V.246, p.444-461. 2019. Doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.157.
- SHRESTHA, R; HABERL, R; LABER, J; MANANDHAR, R; MADER, J. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in Nepal. **Water Science and Technology**. V.44, n.11–12, p.381–386. 2001.
- SHUVAL, Hillel - Wastewater Irrigation in Developing Countries Health Effects and Technical Solutions. Washington, D.C: UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, Water and Sanitation Division, Infrastructure and Urban Development Department, the World Bank. Copies, 1990.
- SHUVAL, Hillel; YEKUTIEL, Perez; FATTAL, Badri. Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater: Jerusalem-A case study. **Water Science and Technology**. V.17, p.467–476. 1985.
- SILVA, Selma Cristina DA; BERNARDES, Ricardo Silveira; RAMOS, Maria Lucrecia Gerosa - Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**. V.20, n.4, p.533–542. 2015. Doi: 10.1590/S1413-41522015020040075357.
- SILVA, Selma. "Wetlands Construídos" De Fluxo Vertical Com Meio Suporte De Solo Natural Modificado No Tratamento de Esgotos Domésticos. 2007. Tese (Doutoramento em tecnologia ambiental e recursos hídricos) departamento de engenharia civil e ambiental. Universidade de Brasília. Brasil.
- TERER, Taita; MUASYA, Muthama; GUEBAS, Farid; NDIRITU, George; TRIEST, Ludwing. Integrating local ecological knowledge and management practices of an isolated semi-arid papyrus swamp (Loboi, Kenya) into a wider conservation framework. **Journal of Environmental Management**. V.93, n.1 p.71–84. 2012. Doi: 10.1016/j.jenvman.2011.08.005.
- TRANG, Ngo; KONNERUP, Dennis; SCHIERUP, Hans; CHIEM, Nguyen. Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: Effects of hydraulic loading rate. **Ecological Engineering**. V.36, n.4, p.527–535. 2010. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2009.11.022.
- TRUU, Marika; JUHANSON, Jaanis; TRUU, Jaak - Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. **Science of The Total Environment**. V.407, n.13, p.3958–3971. 2009. Doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2008.11.036.
- TUNÇSIPER, B - Nitrogen removal in a combined vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetland system. **Desalination**. V.247, p.466–475. Mar. 2009. Acessado em 19 de agosto de 2016. Disponível em www.sciencedirect.com. Doi: 10.1016/j.desal.2009.03.003.
- UN HABITAT - State of the World's Cities 2010/2011 Bridging The Urban Divide. Nairobi; Kenya :(2010).
- UN WATER - Wastewater Management. A UN-Water Analytical Brief. (2016).

VYMAZAL, Jan - Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. **Ecological Engineering**. V.73, p.724–751. 2014. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.09.034.

VYMAZAL, Jan - Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. **Science of the Total Environment**. v.380, n.1-3, p.48–65. May.2007. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.09.014.

WANG, Hongtao; WANG, Tao; ZHANG, Bingru; LI, Fengting; TOURE, Brahim; OMOSA, Isaiiah, CHIRICAMBA, Thomas; ABDEL-MONEM, Mohamed; PRADHAN, Mahesh. - Water and Wastewater Treatment in Africa - Current Practices and Challenges. **Clean - Soil, Air, Water**. V.42, n.8, p.1029–1035. 2014. Doi: 10.1002/clen.201300208.

WELDESILASSIE, Alebel; BOELEEE, Eline; DRECHSEL, Pay; DABBERT, Stephan. Wastewater use in crop production in peri-urban areas of Addis Ababa: Impacts on health in farm households. **Environment and Development Economics**. V.16, n.1, p.25–49. 2011. Doi: 10.1017/S1355770X1000029X.

WERAGODA, S. K; JINADASA, K.B.N.S; ZHANG, D.Q; GESRSBERG, R.M; TANAKA, N. Tropical application of floating treatment wetlands. **Wetlands**. V.32, n.5, p.955–961. 2012. Doi: 10.1007/s13157-012-0333-5.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME) - Water for a sustainable world. The United Nations World Water Development Report. Water for a sustainable world. Paris, 2015. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>. Acesso em 30.set.2018

ZHANG, Dong Qing *et al.* - Removal of pharmaceutical compounds in tropical constructed wetlands. **Ecological Engineering**. V.37, n.3, p.460–464. 2011. Doi: 10.1016/J.ECOLENG.2010.11.002.

ZHANG, Dong; TAN, Soon; GERSBERG, Richard; ZHU, Junfei; SADREDDINI, Sara; LI, Yife. Nutrient removal in tropical subsurface flow constructed wetlands under batch and continuous flow conditions. **Journal of Environmental Management**. V.96, n.1, p.1–6. 2012. Doi: 10.1016/J.JENVMAN.2011.10.009.

ZURITA, F; ANDA, J. DE; BELMONT, M. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**. V.35, n.5, p.861–869. 2009. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.12.026.