



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

## LEITOS DE MACRÓFITAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM PAÍSES DO CONTINENTE AFRICANO

Marla MUJOVO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudante de curso de Doutoramento, CERIS, Instituto Superior Técnico, marlamjv59@gmail.com

Ana GALVÃO<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Professora Auxiliar, CERIS, Instituto Superior Técnico, ana.galvao@tecnico.ulisboa.pt

José Saldanha MATOS<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Professor Catedrático, CERIS, Instituto Superior Técnico, jsm@civil.ist.utl.pt

### RESUMO

A maior parte das cidades Moçambicanas, com excepção da cidade da Beira e de Maputo, não apresenta tratamento das águas residuais, o que faz com que a problemática de saneamento seja um dos principais objectivos a ser alcançado pelo governo. Em termos financeiros as infra-estruturas de saneamento requerem investimentos relevantes, com implicações na economia do país, na qual uma parte é dependente da ajuda de apoio externo. Especificamente para a cidade de Tete, existe uma necessidade particularmente urgente de tratamento das águas residuais, devido à descarga de efluentes residuais sem nenhum tratamento prévio no rio Zambeze. O uso das macrófitas aquáticas no sistema de “Leito de macrófitas (LM)” para o tratamento de águas residuais com finalidade de uso posterior na agricultura faz parte das tecnologias comprovadas como eficientes em relação aos sistemas convencionais, LM são de fácil operação e manutenção e apresenta baixo custo, apresenta forte potencial de aplicação em países em desenvolvimento, particularmente em pequenas comunidades rurais. Contudo, existe fraca divulgação desses sistemas nos países do continente Africano, devido à falta de conhecimentos e divulgação. Este trabalho resume informações sobre as características gerais do funcionamento dos leitos de macrófitas no tratamento de águas residuais, e em particular examinou o potencial do uso desta técnica em alguns países do continente Africano no tratamento e reutilização de águas residuais para posterior utilização na agricultura. Concluiu-se que as águas residuais tratadas por leitos de macrófitas com utilização posterior na agricultura constitui uma solução viável para as zonas com problemas de secas e o uso da espécie *Phragmites australis* é a mais eficaz para o caso de Moçambique devido à sua abundancia e ao elevado valor económico da biomassa.

Palavras-chave: águas residuais, agricultura, leitos de macrófitas, países africanos.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A maior parte das cidades moçambicanas, com exceção da cidade da Beira e de Maputo, não apresenta tratamento das águas residuais, o que faz com que a problemática de saneamento seja um dos principais objectivos a ser alcançado pelo governo. Em termos financeiros as estruturas de saneamento requerem investimentos importantes, com implicações na economia do país, na qual uma parte é dependente de ajuda de apoio externo. Especificamente para a cidade de Tete, existe uma necessidade particularmente urgente de tratamento das águas residuais. Segundo informações da Ara Zambeze (Agência Regional de Águas do Zambeze), todo o efluente residual urbano é descarregado no rio Zambeze sem nenhum tratamento prévio (BETA, 2011). O Rio Zambeze, que atravessa a cidade de Tete, é considerado como uma das maiores riquezas de recursos hídricos pela população da cidade, devido a sua importância socioeconómica e ambiental. O deficiente acesso a água potável faz com que a maior parte da população que vive nas margens do rio usufrua da água do rio também para a higiene individual, alimentação e recreação. Em paralelo que essa fonte de água é usada como meio receptor, a montante, de todo o efluente da cidade. Esta questão aliada a não observância das melhores práticas de higiene individual e colectiva constitui uma das causas das principais epidemias que provoca, periodicamente, mortes na população devido a diarreias, malária, parasitoses intestinas, bilharziose e cólera.

A reutilização das águas residuais constitui uma importante estratégia de conservação dos recursos hídricos, particularmente em países que sofrem de escassez de água como é o caso de Moçambique. Esta prática tem sido utilizada em países em desenvolvimento, incluindo alguns países da Ásia e da América latina (Kivaisi, 2001).

O princípio básico do tratamento das águas residuais através de leitos de macrófitas consiste em encaminhar as águas residuais decantadas para um leito, poroso e húmido com plantas hidrófitas (macrófitas). Este tipo de sistemas deve ser utilizado após um tratamento primário, para evitar problemas de colmatção e deficiente funcionamento dos leitos (Oliveira, 2007). São considerados sistemas “verdes”, e desenvolvem-se segundo directrizes preferenciais, nomeadamente, o recurso à capacidade bioxigenadora e depuradora das plantas aquáticas e à reconstituição e optimização de zonas húmidas. São sistemas biológicos de tratamento de efluentes em que as plantas servem de suporte a microorganismos que os degradam. Este tratamento centra-se, entre outros aspectos, na remoção da matéria orgânica, de nutrientes como o azoto e o fósforo, e na redução de diversos microorganismos patogénicos (Da Silva, 2007).

Vários países africanos como Uganda, Etiópia, Quênia e África do sul, utilizam sistemas biológicos “leito de macrófitas” usando diferentes espécies de plantas como técnicas de tratamento de águas residuais para o seu uso posterior em agricultura e jardins (kivaisi, 2001).

Pelo facto da prática da agricultura englobar a maior parte da população e ainda constituir a base de desenvolvimento de Moçambique, torna-se necessário investigar tecnologias mais viáveis para combater calamidades naturais como o caso da seca.

## **2. CARACTERÍSTICAS DAS MACRÓFITAS**

Autores como kivaisi (2001); Da silva (2007); Galvão (2007) afirmam que o termo macrófitas aquáticas abrangem vegetais que variam desde macroalgas a angiospermas. A classificação dos leitos de macrófitas é baseada no tipo de plantas utilizadas: flutuantes, submersas e emergentes. No caso das plantas emergentes o leito pode ser classificado em função do tipo de escoamento: fluxo superficial e fluxo sub-superficial. Os leitos de fluxo sub-superficial podem ainda ser classificados de acordo com a orientação do escoamento em: fluxo horizontal e vertical (descendente e ascendente), ou ainda a combinação dos dois sistemas, os chamados sistemas híbridos (Vymazal, 2002). Korkusuz (2005) acrescenta na lista da classificação destes sistemas macrófitas o tipo de efluente tratado: águas residuais domésticas, indústrias variadas, escorrências de aterros sanitários, águas pluviais, efluentes ácidos de minas, secagem de lamas, etc. O tipo de pré-tratamento: as estruturas de entrada e saída. O tipo de substrato: podendo ser brita, solo, areia, etc. E o tipo de carga: contínua ou intermitente.

No sistema de macrófitas aquáticas emergentes de fluxo superficial, a superfície livre do efluente permanece acima do nível do solo. Oliveira (2007) afirma que a base do leito deverá ser bastante impermeável ou impermeabilizada e conter uma camada de solo arável, com uma espessura de 20 a 30 cm, para suporte das raízes das macrófitas, assemelhando-se ao que habitualmente se designa por lagoa (Vymazal, 2002). Em relação ao tipo das macrófitas as plantas aquáticas emergentes que constitui outra das variedades dos leitos de fluxo superficial são espécies vegetais anfíbias, que vivem em águas pouco profundas, enraizadas no solo e cujos caules e folhas emergem fora da água, podendo alcançar 2 a 3 metros de altura. Estas plantas, intermédias entre as aquáticas e as terrestres propriamente ditas, são muito vigorosas e produtivas em virtude de aproveitarem as vantagens dos dois meios, o terrestre e o aquático (Seco, 2008).

No sistema de macrófitas aquáticas de fluxo sub-superficial horizontal, as águas residuais são alimentadas na entrada e fluem lentamente no meio poroso sob a superfície do leito de uma forma mais

ou menos horizontal até atingir a zona de saída onde é recolhido antes da sua saída através de uma disposição de controlo de nível. Durante a passagem as águas residuais entram em contacto com zonas aeróbicas, anóxicas e anaeróbicas (Vymazal, 2002).

O sistema de macrófitas aquáticas de fluxo sub-superficial vertical pode ter o fluxo descendente ou ascendente (Da Silva, 2007). Para o fluxo descendente o leito é constituído por uma base de gravilha e cobertura de areia. Vymazal (2002) afirma que o funcionamento se baseia essencialmente na rega intermitente do leito com água residual, que gradualmente vai percolando através das camadas superiores até à base. Para o fluxo ascendente o leito é constituído da base para o topo por cascalho médio, gravilha e solo. Na parte inferior do leito estão distribuídos tubos que por meio de um sistema electromecânico injectam a água residual no leito. O escoamento ocorre por contra percolação e por capilaridade (Oliveira, 2007). Neste sistema as macrófitas são responsáveis por manter a condutividade hidráulica (Vymazal, 2002).

Oliveira (1995) afirma que o funcionamento do leito das macrófitas é condicionado pela constituição das suas plantas, dependendo do tipo de águas tratadas apresentam a sua característica. As plantas mais frequentes usadas são as *Typhas*, *Phragmites*, *Juncus* e *Scirpus* (Reed et al. 1995), nas planícies da zona tropical as que se propagam com mais rapidez são as *Phragmites australis* com o nome comum de Caniço. Para o seu maior desempenho em termos de funcionalidade é importante que as plantas sejam retiradas próximo do local do estudo. Estas crescem melhor em solos argilosos finos onde o nível de água flutua entre os 15cm abaixo e acima do solo, sendo tolerante a salinidade moderada e o pH entre 2 e 8. Seco (2008) afirma que esta é a variedade mais utilizada na Europa, devido à velocidade de crescimento, desenvolvimento radicular, resistência as condições de saturação do solo e por serem bastante eficazes na transferência de oxigénio. Apresentam a vantagem de ter um baixo valor alimentício e consequentemente não são atacadas por animais, como acontece com outros tipos de plantas. Nos países do hemisfério Sul da África, são amplamente utilizados para fabrico de utensílios para uso doméstico e várias matérias turísticas.

Franklin et al. (2008) descrevem sucintamente o comportamento das macrófitas em relação a dimensão do fluxo, velocidade da água e o regime hidrológico. Este último é considerado de grande importância para crescimento das macrófitas, afeta tanto as espécies presentes como em abundância (Biggs, 1996, Wilby et al., 1998; Riis e Biggs, 2005; Riis et al., 2008 em Franklin et al., 2008). Em estudos realizados na University of Reading (1977) concluiu-se que *Ranunculus spp* são espécies de plantas resistentes as mudanças climáticas e tolerantes as todas condições de descargas.

Várias outras experiências foram realizadas para demonstrar a influência do regime hidrológico no sucesso das comunidades das macrófitas. Por exemplo, Franklin et al. (2008) afirmam que o crescimento bem-sucedido de *Ranunculus* spp em riachos e rios de Reino Unido tem sido associado a descargas no verão e na primavera.

Estudos argumentam que a velocidade da água é o principal fator na regulação do crescimento ou produção de biomassa das macrófitas. De acordo com Madsen et al. (2001) o crescimento das macrófitas é influenciado pela velocidade baixa e média da água, sendo poucas que conseguem sobreviver a alta velocidade, uma vez que um efeito indirecto na fotossíntese. Foi também demonstrado que as taxas da fotossíntese e nutrientes das macrófitas de água doce estão positivamente correlacionadas com baixas velocidades da água (0-0,1m/s) (Franklin et al., 2008).

A relação positiva da baixa velocidade está relacionada aos impactos da velocidade na massa de transferência: o metabolismo das plantas é principalmente limitado pela taxa de carbono para as superfícies foliares (Westlake, 1967 em Franklin et al., 2008). Madsen e Sondergaard (1983) no seu estudo relataram uma ligeira redução nas taxas fotossintéticas para as espécies de *Callitriche stagnalis* na medida que houve o aumento da velocidade para 0.04m/s.

### **3. ESTUDOS DAS MACRÓFITAS EM ALGUNS PAÍSES DO CONTINENTE AFRICANO**

A maior parte dos países em desenvolvimento apresentam dificuldades em instalar de forma generalizada sistemas de tratamento de águas residuais. Isto acontece principalmente devido aos custos elevados dos processos de tratamento e a falta de leis eficazes de controlo da poluição ambiental ou aplicação da lei (Kivaisi, 2001). De entre vários tipos de métodos de tratamento dos efluentes os mais utilizados nos países do continente africanos são as fossas sépticas, lamas activadas, filtros de areia, sistemas anaeróbios e sistemas de aplicação no solo e lagoas de estabilização (Canter et al., 1982; Von Sperling, 1996 em Kivaisi, 2001). De entre estes métodos o mais utilizado são as lagoas de estabilização, que de acordo com o seu desempenho parece ser uma tecnologia satisfatória na execução das metas dos países do continente africano. Uma vez que esta técnica remove 99% de helmitos, vírus e bactérias deixando a água na maior parte das vezes com características favoráveis para o uso na agricultura (kivaisi, 2001).

A reutilização de águas residuais tratadas pelas macrófitas para o seu uso posterior na agricultura tornou-se em todo o mundo e particularmente nos países em desenvolvimento uma estratégia para salvaguardar

e complementar os recursos hídricos de primeira qualidade que se torna cada vez mais limitante. Akponikpè et al., (2011) reutilizaram a água tratada por um sistema “Leitos de macrófitas” durante três anos (2001-2003) no Burkina Faso, a fim de avaliar a existência de riscos nos parâmetros físico-químicos e biológicos para os consumidores em resposta do consumo das culturas irrigadas pelas águas tratadas pelo sistema. Neste estudo obtiveram melhoria da produção de beringelas de 40% em comparação com culturas irrigadas com água doce durante dois anos. Resultados idênticos foram encontrados em Marrocos por Amahmid et al. (1999) com três tipos de irrigação de água (águas residuais não tratadas, águas residuais tratadas, águas superficiais). Estes autores concluíram que a reutilização de águas residuais aumentou a produção em 13% para a hortelã, 20,3% para o coentro, 31,6% para o rabanete e 35,1% para a cenoura.

Akponikpè et al., (2011) afirmam que respostas positivas são influenciadas pela qualidade da água e pelos nutrientes existentes na água, mas principalmente porque os nutrientes são fornecidos e liberados continuamente. Os resultados obtidos pelos Akponikpè et al., (2011) mostram claramente que as águas residuais tratadas podem ser usadas, tanto como fonte de nutrientes e fonte de água de cultivo em horticultura para áreas de escassez de água doce e baixa renda agrícola. Contudo sugerem que os consumidores desinfectem ou cozinhem adequadamente os alimentos produzidos antes de comer.

Kassaye et al., (2016) utilizaram as macrófitas para tratamento de águas residuais que são despejados nos lagos de vale do Rift na Etiópia, tendo concluído que as macrófitas podem ser consideradas como indicadores de poluição, tendo encontrado grandes quantidades de concentração de cromo, níquel, zinco, chumbo (metais pesados), nas suas folhas, mas também, concluíram que algumas das macrófitas estudadas acumularam uma alta concentração de metais pesados em relação ao ambiente circundante, demonstrando o seu potencial de indicador de poluição. Espécies de macrófitas como *Echinochloa stagnina* (Retz), que geralmente são utilizadas como alimento para os animais, apresentaram concentrações de metais pesados num nível suficientemente baixo, em relação à norma os valores admissíveis pelo National Institute of Standards and Technology, (USA) e pelo LGC standards, (Reino Unido).

Em Moçambique o sistema de leito de macrófitas apresenta pouca utilização. Ara Zambeze (2017) afirma que este sistema é utilizado por pequenas empresas para o tratamento de águas residuais provenientes de actividades mineiras na cidade de Tete com uso posterior na prática de agricultura de pequeno porte, verificando-se que os parâmetros químicos monitorizados não são os mais adequados a uma utilização agrícola. Como acontece também para a cidade de Chimoio, onde existe o tratamento de águas residuais urbanas por LM antes da descarga final.

Denny (1997) afirma que o uso de LM para os países em desenvolvimento é muito eficaz no tratamento de águas residuais contaminadas, sendo vantajoso por ser de baixo custo e de baixa manutenção. Este autor conclui que estes sistemas podem ser utilizados em diferentes tipos de actividades desde do seu uso nas escolas, hospitais, hotéis e agricultura. Segundo Baliwa (1995) os LM podem ser um sistema eficaz de tratamento de Eutrofização quem vem assolando o lago vitória no Kenya.

Gaigher et al., (1985) realizaram experiências com macrófitas na África do Sul para o tratamento de efluente proveniente de um ao sistema de aquacultura, tendo monitorizado a qualidade das águas durante 10 meses. Devido à variação da temperatura não obtiveram os resultados satisfatórios na retenção dos nutrientes dentro do sistema de tratamento por causa da frequência na troca de água, mas admitem ter observado variação na produção dos peixes.

Dugan (1990) concluiu no seu estudo feito na Swazilândia que, para implantação eficaz do uso do LM em países em desenvolvimento é necessário agir junto com a comunidade local para obtenção de maiores sucessos, uma vez que por ser de baixo custo e de fácil manutenção geralmente são as comunidades que obtêm os maiores benefícios.

Denny (1997) conclui que a aplicação de leito de macrófitas (LM) nos países do continente africano é muito lenta devido à falta de financiamentos e de divulgação de conhecimentos para este tipo de técnica, afirmando ainda no seu estudo que as causas da lentidão se restringem em: primeiro os financiamentos dos países desenvolvidos tendem a favorecer as tecnologias mais abertas que têm um poder comercial para os doadores. Segundo os países desenvolvidos transferem as técnicas avançadas que são utilizadas nos seus países mas que no entanto o seu funcionamento pode não ser adequado para os países em desenvolvimento (em que maior parte dos países do continente africano faz parte) de acordo com a sua realidade e hábitos e costumes, e em terceiro que os países desenvolvidos deveriam auxiliar aos países em desenvolvimento a desenvolverem as suas próprias tecnologias, a tendência tem sido a translocação de projetos “já realizados” para ambientes tropicais. O mais apropriado de acordo com o Denny (1997) para uso acelerado do LM nos países em desenvolvimento seria: aumentar a conscientização de seus potenciais de desenvolvimento e incentivar os países a desenvolverem as suas próprias tecnologias. Apesar do estudo ser realizado no ano de 1997 a conclusão mantém-se actualmente.

É importante salientar que a espécie *phragmites australis* com o nome comum de caniço para além de ser útil no tratamento de águas residuais, a biomassa é utilizada em vários países do continente Africano, Asiático e no sul da América para fabrico de utensílios como vassoura para o jardim, esteiras e objectos de revestimento, etc. Estes matérias geralmente são utilizadas por indivíduos de baixa renda por



apresentar um valor económico reduzido. Esta questão faz com que o uso dos LM para o tratamento de águas residuais em países do continente africano toma-se ainda mais proveitoso em termos de contribuição para economia circular.

#### 4. CONCLUSÃO

O uso dos leitos de macrófitas (LM) para o tratamento de águas residuais são implementadas em vários países, mas a revisão bibliográfica realizada verificou que esta tecnologia tem sido amplamente ignorado em alguns países do continente africano como o caso de Moçambique, em que este sistema é adequado devido ao seu funcionamento eficaz e por ser de baixo custo. Os LM podem ser uma opção para tratamento secundário das águas residuais com posterior uso em várias actividades, sobretudo para o caso de Moçambique que apresenta condições climáticas favoráveis e nenhum estudo divulgado que fale especificamente do uso do leito de macrófitas para tratamento de águas residuais (simplesmente encontrou-se relatório de visita elaborado pela Ara Zambeze), o que justifica urgência na realização de estudos com o uso de LM em países de continente africano, com posterior uso para prática de agricultura, tendo em conta que ainda é considerada a base de desenvolvimento de Moçambique. Dos estudos realizados em alguns países do continente africano pode-se concluir que o uso das macrófitas para reutilização das águas residuais pode ser aplicado em várias actividades (agricultura, aquacultura, escolas, hospitais, etc).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akponikpè, P.B., Wima, K., Yacouba, H., Memoud, A. (2001). Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: Benefits and risks. *Agricultural Water Management* 98, 834–840p.

Amahmid, O., Asmama, S., Bouhoum, k. (1999). The effect of waste water reuse in irrigation on the contamination level of food crops by *Giardia* cysts and *Ascaris* eggs. *Int.J. Food Microbiol.* 49, 19–26.

Ara zambeze. (2017). Relatório de inspecção ambiental da Moz environmental. Segundo semestre, T ete.

Balirwa, J. S. (1995). The Lake Victoria Environment: its fisheries and wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 3, 209-224.



Beta-engenharia gestão e ambiente.lda. (2011). Nova ponte de Tete sobre o Rio Zambeze e Acessos Imediatos entre Tete e Benga. Relatório do estudo de impacto ambiental- Maputo.

Da silva, S.C. (2007). Wetlands construídos de fluxo vertical como meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos. UNB, Programa de pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos,Tese.

Denny, P. (1997). Implementation of constructed wetlands indeveloping countries. Wat. Sci. Tech. 35, 27 – 34.

Dugan, P. (1990). Wetland conservation: A review of current issues and required actions. /UCN, Gland, Switzerland. 96p.

Franklin, P; Dunbar, M; Whitehead, P. (2008). Flow controls on lowland river macrophytes: A review. Science of the total environmental 400, 369-378p.

Gaigher, I.G., Toerien, D.F., Grobbela, R.J.U. (1985). Preliminary Studies on the Treatment of Sorghum Beer Brewery Effluent in an Integrated Bacterial/Algal/Fish/Macrophyte Culture System. Agricultural wastes 12, 207-224p.

Galvão, A.F. (2007). Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Construídas Para o Tratamento de Águas Residuais. IST, Programa de Pós Graduação em Engenharia do ambiente (Tese).

Kassaye, Y. A., Skipperud, I., Einset, J., Salbu, B. (2016). Aquatic macrophytes in Ethiopian Rift Valley lakes; Their trace elements concentration and use as pollution indicators. Aquatic Botany 134, 18– 25p.

Kivaisi A.K. (2001). The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. Ecological Engineering 16, 545 – 560p.

Korkusuz, E.A. (2005). “Manual of practice on constructed wetlands for wastewater treatmente and reuse in Mediterranean countries”. Universidade Técnica de Creta, Grécia.

Madsen J.D., Chambers, P.A., James W.F., Koch, E.W., Westlake, D.F. (2001). The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. *Hydrobiologia* 444, 71–84.

Madsen, T.V., Sondergaard, M. (1983). The effects of current velocity on the photosynthesis of *Callitriche stagnalis*. *Scand. J. Bot.* 15, 187–193.

Oliveira, J. (2007). Diagnóstico e optimização do tratamento de águas residuais em leitos de Macrófitas. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.

Reed, S.C., Crites, R., Middlebrooks, E. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. Second Edition. A McGRAW-HILL Special Reprint Edition.

Seco, M.T.D.H.C. (2008). Avaliação de leitos de macrófitas no tratamento De águas residuais domésticas em Portugal: Sistemas de fluxo sub-superficial horizontal. Programa de pós graduação em Tecnologia Ambiental. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (Dissertação).

University of Reading. (1977). *Ecological study of chalk streams—report for the period October 1973 to September 1977*. Reading: University of Reading.

Vymazal, J. (2002). The use of sub-surface constructed wetland for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Elsevier Science, Ecological Engineering* 18, 633-646p.